



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DPTO. DE MATERIALES Y PROCESO
DE FABRICACIÓN



**EVALUACIÓN DE LA ENERGÍA DE IMPACTO Y MICRODUREZA EN
CORDONES DE SOLDADURA CON DIFERENTES TIPOS DE
ELECTRODOS Y CON POSTCALENTAMIENTO**

Rojas A. José A.
Harvey Alberto Mayorca

VALENCIA, MARZO 2011



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DPTO. DE MATERIALES Y PROCESO
DE FABRICACIÓN



EVALUACIÓN DE LA ENERGÍA DE IMPACTO Y MICRODUREZA EN CORDONES DE SOLDADURA CON DIFERENTES TIPOS DE ELECTRODOS Y CON POST CALENTAMIENTO

*Trabajo especial de grado presentado ante la Ilustre Universidad de
Carabobo para optar al título de Ingeniero Mecánico*

Tutor académico:

Prof. Ing. Argel Porrello.

Autores:

Rojas A. José A.

Harvey Alberto Mayorca.

VALENCIA, MARZO 2011



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DPTO. DE MATERIALES Y PROCESO
DE FABRICACIÓN



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Quien suscribe, miembro del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica para examinar la Tesis de Pregrado titulada **“EVALUACIÓN DE LA ENERGÍA DE IMPACTO Y MICRODUREZA EN CORDONES DE SOLDADURA CON DIFERENTES TIPOS DE ELECTRODOS Y CON POSTCALENTAMIENTO”**, presentada por los bachilleres: **Rojas Álvarez José Abelardo, C.I: 11.279.611**, y **Harvey A. Mayorca, C.I: 10.670.750**, hacemos constar que hemos revisado y aprobado el dicho trabajo.

Prof. Ing. Argel Porrello

Tutor

Prof. Ing. Luis F. Sidorovas

Jurado

Prof. Ing. Oswaldo Urbano

Jurado

VALENCIA, MARZO 2011

DEDICATORIA

- A mi Madre Matilde Ramos; por haberme dado la vida y enseñarme el valor de las cosas, y siempre apoyarme y estar conmigo cuando más te necesite, a ti te dedico este gran triunfo que para nosotros es una gran meta cumplida.
- A mi padre Adalberto Mayorca, por haberme dado la vida, brindado su apoyo y fortaleza en todo momento, gracias por todo Te Adoro papi.
- A mis hermanas y hermanos, quienes me han apoyado y deseado mi superación profesional.
- A mi Esposa (María Gabriela) a ti te doy las gracias por dedicarme tu apoyo incondicional y por la fortaleza que me brindaste a lo largo de mi carrera, te dedico mi triunfo y gracias por estar conmigo en todo momento.
- A mis amigos y compañeros de clase por haberme apoyado a lo largo de mi carrera.
- A la vida por darme la oportunidad de lograr mi anhelo.

Harby Mayorca

DEDICATORIA

Tus brazos siempre se abren cuando necesito un abrazo. Tu corazón sabe comprender cuándo necesito una amiga. Tus ojos sensibles se endurecen cuando necesito una lección. Tu fuerza y tu amor me han dirigido por la vida y me han dado las alas que necesitaba para volar.

Para ti Madre: Margen María Álvarez Hernández.

Esta trabajo de grado está dedicada a ti Madre por las lagrimas que derramaste y la dedicación que me diste, y siempre me has brindado tu apoyo incondicional y haberme criado en un ambiente de amor y comprensión, fuiste madre y padre a la vez en este largo camino, y a mi Abuelo Arístides Álvarez que siempre ha estado conmigo, en las buenas y en las malas, eres y siempre serás un padre dando lo mejor de ti para sus hijos, aquí tienen el fruto que sembraron con esfuerzo, mi agradecimiento eternamente y gracias por creer en mí.

Con mucho amor a mis hijos Arístides Rojas y Ezequiel Rojas, que son la razón de mi vida y motivación constante y a mi esposa Mireya Rojas por su paciencia, comprensión y apoyo incondicional.

Con amor y gratitud, a la memoria de mis abuelas Nina y Victoria por tanto amor y consejo.

Rojas A. José A.

AGRADECIMIENTO

- A DIOS Todopoderoso, por su fuerza espiritual que con su luz divina nos ha guiado para alcanzar nuestra meta.
- A nuestro Profesor Ing. Argel Porrello, por su apoyo incondicional y su orientación brindada en la elaboración de nuestra Tesis de Grado.
- A la Ms. Dayci Belisario por su apoyo y ayuda brindada en la realización de la investigación, gracias por habernos guiado y motivado para obtener el logro de nuestra meta.
- A la Ms. Belgica Ramos por su apoyo y colaboración dada en la elaboración de nuestro trabajo de grado.

Harvey Alberto Mayorca

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Dios por darme la fortaleza, el entendimiento y la sabiduría para realizar este proyecto y así alcázar unas de mis metas, a mi madre y mi abuelo por darme los estudios y por el apoyo que me brindaron, a mis amigos y demás familiares.

Al Ing. Prof. Luis Fernando Sidorovas, gracia por tanta ayuda y tanto consejo le estaré siempre agradecido y los de más profesores por formarme académicamente en esta UNIVERSIDAD DE CARABOBO.

A mi esposa Ing. Mireya Rojas, fuiste la única que me ayudo en esta etapa fuerte, dedicando su tiempo y desvelándote junto conmigo, en las correcciones de toda la tesis, gracia te doy por no dejarme sólo con este proyecto de grado, sin ti no lo hubiese logrado.

Al Profesor Ing. Argel Porrello, por su ayuda, paciencia y orientación en este proyecto de Grado.

Al Profesor Ing. Oswaldo Urbano, por proporcionarme el tema del proyecto de grado y orientación.

Rojas A. José A.

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal evaluar la tenacidad de impacto y microdureza en cordones de soldadura de aceros AISI-1020 mediante arco eléctrico con diferentes tipos de electrodos revestidos AWS (E7018 y E7024) y con postcalentamiento. Para la realización del proceso de la juntas soldada, se utiliza láminas 10mm biselados en (V) con ángulo de 60° y una ranura de 45° en (V) para energía de impacto. Se utilizaron 28 probetas de 10x10x55mm, previo a ello se sometieron a diferentes temperaturas de postcalentamiento (revenido) para cambiar sus propiedades físicas por medio de la variación de temperatura. A tal fin se llevan a cabo ensayos mecánicos de dureza, impacto así como microdureza y microestructura, en la zona fundida de la junta soldada, los análisis químicos se observaron el tamaño de grano. Por tanto, la zona con granos grandes tendrá poca resistencia a la tensión y elevada ductilidad, mientras que la zona con granos pequeños tendrá elevada resistencia a la tensión, y al mismo tiempo elevada fragilidad esto se debe a las composición químicas de los electrodos y el enfriamiento al aire libre.

ÍNDICE GENERAL

	pág.
DEDICATORIA.	
AGRADECIMIENTOS.	
RESUMEN.	I
ÍNDICE DE TABLAS.	II
ÍNDICE DE FIGURAS.	III
INTRODUCCIÓN.	1
CAPÍTULO 1. El problema.	2
1.1. Situación problemática.	2
1.2. Objetivos.	4
1.2.1. Objetivo general.	4
1.3.2. Objetivos específicos.	4
1.4. Justificación.	5
1.6. Limitaciones.	5
1.5. Alcance.	6
CAPÍTULO 2. Marco teórico.	7
2.1. Antecedentes.	7
2.2. Acero.	9
2.3. Clasificación de los aceros.	9
2.4. Soldadura.	11

2.4.1.	Principio de funcionamiento de la soldadura por arco.	11
2.4.2.	Transferencia metálica.	11
2.4.3.	Soldadura Manual con electrodos revestidos.	12
2.5.	Soldadura por arco eléctrico manual con electrodo metálico revestido.	12
2.6.	Nociones de electricidad con relación al arco eléctrico.	14
2.7.	Materiales de aporte para soldadura.	16
2.7.1.	Generalidades.	16
2.7.2.	Soldadura eléctrica manual.	16
2.8.	Composición genérica del revestimiento.	17
2.9.	Zona afectada por el calor.	19
2.10.	Propiedades de los aceros.	21
2.11.	Ensayo de dureza.	22
2.12.	Ensayo de impacto.	23
2.13.	Distorsiones y esfuerzos residuales.	24
2.14.	Revenido.	26
2.15.	Influencia, comportamiento de los elementos de aleación en la soldabilidad y modelos de dureza.	26
2.15.1.	Carbono.	26
2.15.2.	Azufre.	28
2.15.3.	Fósforo.	28
2.15.4.	Silicio.	28
2.15.5.	Manganeso.	29
2.15.6.	Cromo.	30
2.15.7.	Molibdeno.	31
2.15.8	Vanadio.	32
CAPÍTULO 3. Marco metodológico.		33
3.1.	Nivel de la investigación.	33
3.2.	Diseño de la investigación.	33

3.3. Población y muestra.	33
3.4. Técnicas y procedimiento experimental.	33
3.5. Materiales a utilizar.	34
3.6. Composición química de los materiales.	34
3.6.1. Composición química del acero 1020.	34
3.6.2. Composición química del electrodo E 7018 y E 7024.	34
3.7. Materiales y equipos de preparación.	35
3.7.1. Materiales y equipos.	35
3.7.2. Tratamiento térmico.	35
3.7.3. Microestructura.	35
3.7.4. Microdureza e impacto.	36
3.8. Procedimiento experimental.	36
3.8.1. Recepción de material acero AISI-1020.	36
3.8.2. Cortes de las láminas.	36
3.8.3. Soldadura de las láminas.	37
3.8.3.1. Parámetro de soldadura.	37
3.8.4. Corte de las probetas.	38
3.8.5. Postcalentamiento.	39
3.8.6. Realización de ensayos.	40
3.8.6.1. Ensayos charpy.	40
3.8.6.2. Ensayos microestructura.	41
3.8.6.2.1. Caracterización por microscopía óptica.	41
3.8.6.2.2. Preparación metalográfica.	41
3.8.6.3. Ensayos microdureza.	43
CAPÍTULO 4. Resultados experimentales.	44
4.1. Introducción.	44
4.2. Charpy.	44
4.3. Microscopias.	45

4.3.1. Microscopia de junta soldada con electrodo E 7018.	46
4.3.2. Microscopia de junta soldada con electrodo E 7024.	48
4.4. Caracterización de la microestructura.	49
4.4.1. Junta soldada con electrodo E 7018.	50
4.4.2. Junta soldada con electrodo E 7024.	51
4.4.1. Microdureza.	52
CAPÍTULO 5. Análisis de los Resultados.	55
5.1. Charpy.	54
5.2. Microdureza.	54
5.3. Microestructura.	54
5.4. Conclusión.	55
5.5. Recomendación.	55
BIBLIOGRAFÍA	57
ANEXO.	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.	Resumen de las funciones de algunas materias primas.	18
Tabla 3.1.	Composición química del acero 1020.	34
Tabla 3.2.	Composición química del electrodo E7018.	34
Tabla 3.3.	Composición química del electrodo E7024.	35
Tabla 3.4.	Parámetro de soldadura.	37
Tabla 4.1.	Ensayo electrodo rutilo E7024.	44
Tabla 4.2.	Ensayo electrodo bajo hidrogeno E7018.	45
Tabla 4.3.	Ensayo electrodo bajo hidrogeno E7018.	52
Tabla 4.4.	Ensayo electrodo rutilo E7024.	53



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DPTO. DE MATERIALES Y PROCESO
DE FABRICACIÓN



**EVALUACIÓN DE LA ENERGÍA DE IMPACTO Y MICRODUREZA EN
CORDONES DE SOLDADURA CON DIFERENTES TIPOS DE
ELECTRODOS Y CON POSTCALENTAMIENTO**

Rojas A. José A.
Harvey Alberto Mayorca

VALENCIA, MARZO 2011



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DPTO. DE MATERIALES Y PROCESO
DE FABRICACIÓN



EVALUACIÓN DE LA ENERGÍA DE IMPACTO Y MICRODUREZA EN CORDONES DE SOLDADURA CON DIFERENTES TIPOS DE ELECTRODOS Y CON POSTCALENTAMIENTO

*Trabajo especial de grado presentado ante la Ilustre Universidad de
Carabobo para optar al título de Ingeniero Mecánico*

Tutor académico:

Prof. Ing. Argel Porrello.

Autores:

Rojas A. José A.

Harvey Alberto Mayorca.

VALENCIA, MARZO 2011



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DPTO. DE MATERIALES Y PROCESO
DE FABRICACIÓN



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Quien suscribe, miembro del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica para examinar la Tesis de Pregrado titulada **“EVALUACIÓN DE LA ENERGÍA DE IMPACTO Y MICRODUREZA EN CORDONES DE SOLDADURA CON DIFERENTES TIPOS DE ELECTRODOS Y CON POSTCALENTAMIENTO”**, presentada por los bachilleres: **Rojas Álvarez José Abelardo, C.I: 11.279.611**, y **Harvey A. Mayorca, C.I: 10.670.750**, hacemos constar que hemos revisado y aprobado el dicho trabajo.

Prof. Ing. Argel Porrello

Tutor

Prof. Ing. Luis F. Sidorovas

Jurado

Prof. Ing. Oswaldo Urbano

Jurado

VALENCIA, MARZO 2011

INTRODUCCIÓN

Soldadura es la técnica o procedimiento que se emplea para unir dos a más piezas; esta investigación está dirigida a la evaluar la tenacidad de impacto y microdureza en cordones de soldadura de aceros AISI-1020 mediante arco eléctrico con diferentes tipos de electrodos revestidos AWS E7018 y E7024 y con post-calentamiento.

El sistema de soldadura por arco eléctrico es uno de los procesos por fusión para unir piezas metálicas. Mediante la aplicación de un calor intenso, el metal en la unión de dos piezas es fundido causando una mezcla de las dos partes fundidas entre sí, o en la mayoría de los casos, junto con un aporte metálico fundido. Luego del enfriamiento y solidificación del material fundido, se obtuvo mediante este sistema una unión mecánicamente resistente. Por lo general, la resistencia a la tensión y a la rotura del sector soldado es similar o mayor a la del metal base. En este tipo de soldadura, el intenso calor necesario para fundir los metales es producido por un arco eléctrico. Este se forma entre las piezas a soldar y el electrodo, el cual es movido manualmente o mecánicamente a lo largo de la unión. El electrodo puede ser de diversos tipos de materiales. Independientemente de ello, el propósito es trasladar la corriente en forma puntual a la zona de soldadura y mantener el arco eléctrico entre su punta y la pieza. El electrodo utilizado, según su tipo de naturaleza, puede ser consumible, fundiéndose y aportando metal de aporte a la unión. En la gran mayoría de los casos en que se requiera hacer soldaduras en hierros, aceros al carbono y aceros inoxidables, son de uso común los electrodos metálicos recubiertos.

Para la evolución de las propiedades mecánicas se realizaron ensayos destructivos como impacto, microestructura, el estudio metalográfico engloba la inspección visual a nivel microscópico para analizar su microestructura en el cordón de soldadura, zona fundida, zona afectada por el calor y el metal base, es útil e interesante.

CAPÍTULO 1

El problema

1.1.- SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.

El principal producto siderúrgico es el acero, siendo aproximadamente el 90% de la producción acero al carbono y el 10%, acero aleado. Por lo tanto, el material metálico más importante para la industria es el acero al carbono. El acero al carbono es una aleación de composición química compleja. Además de hierro, cuyo contenido puede oscilar entre 0 y 99,5%, hay en él muchos elementos cuya presencia se debe a los procesos de su producción (manganeso y silicio), a la dificultad de excluirlos totalmente del metal (azufre, fósforo, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno) o a circunstancias casuales (cromo, níquel, cobre y otros).

El acero AISI-1020 es uno de los aceros al carbono más comúnmente usados, tiene un contenido nominal de carbono de 0.20% y aproximadamente 0.5% de manganeso, se utiliza en la fabricación tales como; Puentes de ferrocarril, grandes estructuras de las estaciones, las columnas metálicas de las líneas eléctricas, los cascos de los buques, las estructuras de las casas, las carrocerías de los automóviles, los tubos de las bicicletas, los clavos, los alfileres, las cerraduras de las puertas, los asientos de los escritorios y muchos objetos más que utilizamos diariamente.

En la actualidad, la soldadura eléctrica resulta indispensable para un gran número de industrias. Esto debido a su reducido costo, fácil y rápida utilización, resultados perfectos y aplicables a toda clase de metales. El procedimiento de soldadura por arco consiste en provocar la fusión de los bordes que se desea soldar mediante el calor intenso desarrollado por un arco eléctrico. Los bordes en fusión de las piezas y el material fundido que se separa del electrodo se mezclan íntimamente, formando, al enfriarse, una pieza única, resistente y homogénea. Este tipo de soldaduras pueden ser efectuados bajo corriente tanto continua como alterna. En corriente continua

el arco es más estable y fácil de encender y las salpicaduras son poco frecuentes; en cambio, el método es poco eficaz con soldaduras de piezas gruesas. La corriente alterna posibilita el uso de electrodos de mayor diámetro, con lo que el rendimiento a mayor escala también aumenta. En cualquier caso, las intensidades de corriente oscilan entre 10 y 500 Amp. Para la generación del arco existen diferentes tipos de electrodos como lo son: electrodos de carbón, metálicos y recubiertos. Los electrodos más utilizados en la actualidad son los metálicos con recubrimientos, que mejoran las características de la soldadura.

Las funciones de dichos recubrimientos son las siguientes: Proveen una atmósfera protectora, proporcionan escoria de características adecuadas para proteger al metal fundido, estabilizan el arco, añaden elementos de aleación al metal de la soldadura, desarrollan operaciones de enfriamiento metalúrgico, reducen las salpicaduras del metal, aumentan la eficiencia de deposición, eliminan impurezas y óxidos, Influyen en la profundidad del arco, disminuyen la velocidad de enfriamiento de la soldadura.

En la soldadura se pueden distinguir las zonas que se ven afectadas por el calor como lo son:

- La zona de metal de soldadura está formada por una combinación del metal de aporte y metal base. En realidad esta zona no es muy crítica dependiendo de la cantidad de elementos albeantes del metal base que pueden formar microestructuras frágiles o humedad que promueva la formación de porosidades.
- La zona afectada por el calor que permanece en estado sólido solamente absorbe el calor generado por la fuente del calor en soldadura, por el efecto de la conducción calorífica sufre un ciclo de calentamiento y enfriamiento ya que las temperaturas para las distintas secciones de esta zona varían desde la temperatura de fusión, que son los factores que producen cambios en la microestructura y propiedades mecánicas del metal. Estos cambios se producen en aquellos aceros que son tratables térmicamente, y es la zona más crítica en la unión soldada.
- La zona del metal base no sufre ningún cambio permanente en su microestructura.

Una de las formas de mejorar la utilización de los procesos de soldadura puede traer como resultado el surgimiento de tensiones residuales, que pueden llegar a tener valores elevados y no permisibles, por lo que es necesario atenuar o eliminar dichas tensiones. Existen diferentes métodos o tratamientos. Estos tratamientos se agrupan en dos grandes campos:



Los tratamientos térmicos y los tratamientos mecánicos; ambos bien conocidos, son utilizados para reducir los esfuerzos residuales, pueden incluir precalentamiento, postcalentamiento, etc.

La microestructura de la soldadura puede afectar las propiedades mecánicas del acero, por medio de su control se puede mejorar la tenacidad de un metal soldado. Unas de las microestructuras no deseada es la martensita ya que esta me fragiliza la unión soldada.

Cabe la pena preguntarse, ¿cuál es la influencia del revestimiento de los electrodos en las juntas soldadas y cómo éstos afectan sus propiedades?

1.2.- OBJETIVOS.

1.2.1.- Objetivo General.

Evaluar la tenacidad de impacto y microdureza en cordones de soldadura de aceros AISI-1020 mediante arco eléctrico con diferentes tipos de electrodos revestidos y con postcalentamiento.

1.2.2.- Objetivos Específicos.

- Determinar la energía de impacto en cordones de soldadura de acero soldadas con electrodo de rutilo a diferentes temperaturas de postcalentamiento.
- Determinar la energía de impacto en cordones de soldadura de acero soldadas con electrodo de bajo hidrogeno a diferentes temperaturas de postcalentamiento.
- Determinar la microdureza en cordones de soldadura de acero soldadas con electrodo de rutilo a diferentes temperaturas de postcalentamiento.
- Determinar la microdureza en cordones de soldadura de acero soldadas con electrodo de bajo Hidrogeno a diferentes temperaturas de postcalentamiento.
- Evaluar la microestructura para los casos antes mencionados.

1.3.- JUSTIFICACIÓN.

Los aceros al carbono son aleaciones de hierro y carbono que contienen otros elementos aleantes en pequeñas cantidades tales como: silicio, manganeso, azufre y fósforo. En estos aceros, el carbono constituye el segundo elemento de importancia después del hierro y con el aumento de la cantidad de éste se incrementa la resistencia, pero también la templeabilidad, o sea, la capacidad de formar estructuras de mayor volumen específico,

cuando se somete a velocidades de enfriamiento rápidas las cuales son típicas de los procesos de soldadura.

Esto conlleva a investigar, que en base a las características del metal de aporte (Electrodo) y el metal base (probeta de acero), existe la necesidad de evaluar la fractura en el cordón de soldadura para electrodos utilizados en acero estructural AISI-1020, donde el electrodo E7024 es de gran rendimiento, su gran velocidad de aportación lo hace interesante desde el punto de vista económico en las soldaduras de una sola pasada o en grandes rellenos que permite una profunda penetración en cualquier posición y es adecuado para los cordones de tanques, planchas pesadas, láminas gruesas, recipientes de presión y tuberías en general, al igual que el electrodo E7018, estos electrodos están diseñados para evitar la absorción de este gas y los efectos motivados por el mismo, este tipo de electrodo también contiene polvo de hierro, tiene una gran velocidad. Dado que el rendimiento no es excesivo, admite la soldadura en todas las posiciones y puede aplicarse en corriente alterna.

El porqué de este proyecto de investigación responde a la necesidad de estudiar diferentes condiciones de trabajo a las que se ven sometidos cordones de soldadura esto para tratar de evitar que la unión soldada falle. Uno de los factores que favorecen al cordón de soldadura es la aplicación de postcalentamiento inmediatamente después de soldar, éste ayuda a reducir la tensión residual en el metal de soldadura.

1.4.- LIMITACIONES.

- Costo del acero para el desarrollo de la investigación
- Costo del mecanizado del material.
- El soldador a realizar la soldadura debe ser calificado y certificado para realizar los cordones de soldadura en las probetas.
- Disponibilidad del equipo para realizar el calentamiento de las probetas.

1.5.- ALCANCE.

La investigación realizada es para analizar la tenacidad de impacto y la microdureza en uniones soldadas de acero AISI-1020 mediante electrodo AWS E7018 y AWS E7024:

- El material a utilizar es acero estructural AISI-1020 de 10mm de espesor.
- En el proceso de soldadura se emplean electrodos de rutilo E7024 y bajo Hidrogeno E7018.



- Para este acero, debido a su espesor se usará electrodos de rutilo E7024 y bajo Hidrogeno E7018 y 3.25 mm de diámetro.
- Los parámetros de voltajes (22) voltios y corriente (140) Amp para los electrodos de rutilo E7024 y bajo Hidrogeno E7018.
- El ensayo se realiza a temperaturas ambiente y postcalentamiento de 600°C, 625 °C y 650°C con un tiempo de 30min por c/temperatura.
- Las dimensiones de las probetas según la norma ASTM E-23 para el ensayo Charpy, es sección cuadrada de 10x10x55mm de longitud colocándose con una distancia entre soportes de 40mm.

CAPÍTULO 2

Marco teórico

2.1.- ANTECEDENTES.

Asta et al.,(2003), analizó la soldabilidad con relación a la temperatura de precalentamiento de un acero ASTM A514 Gr B de alta resistencia templado y revenido utilizado en aplicaciones estructurales, en consecuencia se evaluó la utilización de métodos experimentales para determinar la temperatura de precalentamiento más adecuada, minimizando el riesgo de fisuración. En esta investigación se determinó que un precalentamiento mínimo de 150 °C permite minimizar el riesgo a fisuras tanto en la ZAC como en el metal de soldadura.

Abdulhamid et al., (2002), evaluaron el efecto de la temperatura de precalentamiento sobre la sensibilidad al agrietamiento en la soldadura de aceros inoxidables austeníticos, se aplicaron diferentes condiciones de precalentamiento de 100 °C, 200 °C y 300 °C, para evaluar la sensibilidad a la ruptura se uso la longitud total de grietas y el número total de grietas, usando un ensayo de Vareststraint longitudinal, además se hizo una análisis de la superficie tanto macroscópicamente como microscópicamente, los resultados mostraron que la longitud total de grietas y el número total de grietas se reducen para un precalentamiento de 200 °C, y se incrementaba la longitud total de grietas y el número total de grietas con el incremento de la temperatura de precalentamiento.

Janus Daniel y Pachas Hjalmar (2003). "Evaluación de metalurgia de la soldadura de los aceros inoxidables AISI-304 y AISI-310 con el acero al carbono ASTM A-36" Evaluación de las propiedades mecánicas de la unión soldada entre los aceros inoxidables AISI-304 y AISI-310 con el acero al carbono ASTM A-36". Evaluar la microestructura en la unión soldada entre los aceros inoxidables AISI-304 y AISI-310 con el acero al carbono ASTM A-36, mediante el uso del diagrama de Schaeffler y aplicar las técnicas de



microscopía óptica a la unión soldada de los aceros inoxidable AISI-304 y AISI-310 con el acero al carbono ASTM A-36. Conclusión: Según el diagrama de Shaeffler, las uniones soldadas entre los aceros disímiles y el material de aporte tratados en este trabajo, queda representados en una zona de buena soldabilidad, la cual posee ferríticas y austeníticas. En los ensayos de tracción se presentaron resultados satisfactorios en las combinaciones de aceros disímiles (AISI-304 y AISI-310 con ASTM A-36 respectivamente) independientemente de la intensidad de corriente utilizada. En cuanto a la microestructura obtenida en las uniones soldadas, en la ZAC del ASTM A36, se presenta la microestructura Ferrita Widmanstaetten que genera una fragilidad considerable en este acero.

M. Payares, M. Dorta (2004). El estudio de las propiedades mecánicas en las soldaduras de los aceros inoxidable dúplex, bajo la influencia de las variables intensidad de corriente, voltaje y velocidad de soldadura. han tomado gran importancia a raíz de la creciente aplicabilidad de los mismos en diferentes industrias, en especial en la petroquímica. El objetivo principal de este trabajo es determinar la resistencia al impacto de la junta bajo diferentes variables de soldadura y en condiciones similares a las que se presentan en complejos criogénicos. Los ensayos fueron diseñados utilizando el proceso de soldadura a tope por arco eléctrico. GMAW, con una fuente de poder constante y usando una corriente directa y polaridad reversa. Se utilizó una placa de acero inoxidable dúplex SAF 2205. Como material base, como material de aporte un alambre de electrodo E-Er 2209. De acuerdo a las normas AWS 5.4-92 y 5.9-93 y Argon comercial puro como gas de protección. Los ensayos de impacto de las uniones soldadas no mostraron variaciones significativas en la energía absorbida, que evidencien un cambio en el tipo de fractura del material en función de los parámetros de soldadura seleccionados. Se pudo observar que no ocurre transición dúctil-frágil y la disminución de la tenacidad es poco significativa.

Ramírez Disnarda. (2005). influencia del tiempo de post-calentamiento en la formación de la fase sigma para uniones soldadas en aceros inoxidable AWS 304. Determinar microscópicamente la formación de la fase sigma en juntas de aceros inoxidable AWS 304, cuando estas son sometidas a altas temperaturas $T_1=500^{\circ}\text{C}$ y $T_2=900^{\circ}\text{C}$ en periodo $t_1=6\text{h}$, $t_2=24\text{h}$ $t_3=48\text{h}$ de postcalentamiento, con enfriamientos al ambiente y en salmuera al 10% con hielo. Visualizar la formación de fase mediante el uso del microscopio electrónico de barrido. Conclusión: Se demostró la formación de la fase sigma, mediante el análisis de E.D.X, en el acero AWS 304 sometido a un postcalentamiento de 900°C , tiempo de permanencia en el mismo de 48h y enfriamiento a temperatura ambiente. Para la condición de 900°C y el tiempo de permanencia de 6h, enfriada a temperatura ambiente, el (Fe) mantuvo el mismo comportamiento mecánico para cada condición de trabajo del acero. La

presencia de la fase sigma no afectó significativamente la ductilidad y la rigidez del acero AWS 304.

2.2.- ACERO.

Aleación compuesta principalmente de hierro, menos del dos por ciento de carbono y (en aceros aleados) pequeños porcentajes de otros elementos de aleación.

2.3.- CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS.

Aceros al carbono: Acero que contiene una cantidad variable de carbono. El acero con bajo contenido de carbono tiene un máximo de 0.15 por ciento de este elemento; el acero dulce contiene de 0.15 a 0.35 por ciento de carbono; el acero con mediano contenido de tiene de 0.35 a 0.60 por ciento de este elemento. El acero con alto contenido de carbono tiene de 0.6 a 1.0 por ciento.

Acero de bajo carbono: Entre los productos fabricados con aceros al carbono figuran máquinas, carrocerías de automóvil, la mayor parte de las estructuras de construcción de acero entre ellos el A-36, cascos de buques.

Acero de aleación: Acero al carbono común al que se le ha agregado otro elemento.

Acero dulce: Véase acero al carbono.

Acero reposado: Acero fundido que permanece en el caldero, el horno o el crisol hasta que cesa el desprendimiento de gases y el metal está totalmente inmóvil.

Aceros de medio carbono: Son similares a los aceros de bajo carbono excepto que el rango de carbono varía desde 0.30% a 0.60% y el manganeso desde 0.60% a 1.65%. Estos aceros pueden ser tratados térmicamente mediante temple y revenido para mejorar las propiedades mecánicas. La microestructura generalmente es Martensita revenida. Las adiciones de Cr, Ni y Mo facilitan el tratamiento térmico que en su ausencia es difícil y útil sólo para secciones de pieza relativamente delgadas. Son más resistentes que los aceros bajos en carbono pero menos dúctiles y maleables. Se suelen utilizar para fabricar cinceles, martillos, cigüeñales, pernos, etc.

Aceros de alto carbono: Contienen desde 0.6% a 1% de carbono con un contenido de manganeso en el rango de 0.3% a 0.9%. Son más duros y resistentes (y menos dúctiles) que los otros aceros al carbono. Casi siempre se utilizan con tratamientos de templado y revenido que lo hacen muy resistentes al desgaste y capaces de adquirir la forma de herramienta de



corte. Generalmente contienen Cr, V, Wolframio (W) y Mo, los cuales dan carburos muy duros. Se utilizan como herramientas de corte y matrices para fabricar herramientas de herrería y carpintería.

Aceros ultra alto carbono: Son aleaciones experimentales con contenido de carbono aproximadamente 1.25% a 2% de carbono.

Aceros de baja aleación: Constituyen una categoría de materiales ferrosos que exhiben propiedades mecánicas superiores a los aceros al carbono como resultado de la adición de ciertos elementos aleantes como níquel, cromo y molibdeno. El contenido total aleantes está por encima de 2.7% hasta los valores de los aceros inoxidable, el cual puede contener un mínimo de 10% de cromo. A este grupo pertenecen los aceros inoxidable AWS 304 y AWS 316L.

Aceros de baja aleación y alta resistencia: Estos aceros también llamados microaleados, son designados para que provean un mejoramiento en las propiedades mecánicas y en la resistencia a las corrosiones atmosféricas. Reportan un esfuerzo de fluencia menor a 275Mpa.

Aceros inoxidable: Ciertas aleaciones y hierro y cromo poseen alta resistencia a la corrosión y a la oxidación a temperatura elevadas y mantienen una resistencia mecánica considerable a dichas temperaturas. A estas aleaciones se les llaman aceros inoxidable.

Clasificación de los Aceros Inoxidable: Los aceros inoxidable no son indestructibles, sin embargo con una selección cuidadosa, sometiéndolos a procesos de transformación adecuados y realizando una limpieza periódica, algún integrante de la familia de los aceros inoxidable resistirá las condiciones corrosivas y de servicio más severas.

Aceros Inoxidable Martensíticos (Serie 400): Son la primera rama de los aceros inoxidable, llamados simplemente al Cromo y fueron los primeros desarrollados industrialmente (aplicados en cuchillería). Tienen un contenido de Carbono relativamente alto de 0.2 a 1.2% y de Cromo de 12 a 18%. Los tipos más comunes son el AISI 410, 420 y 431. Las propiedades básicas son: Elevada dureza (se puede incrementar por tratamiento térmico) y gran facilidad de maquinado, resistencia a la corrosión moderada. Principales aplicaciones: Ejes, flechas, instrumental quirúrgico y cuchillería.

Aceros Inoxidable Ferríticos (Serie 400): También se consideran simplemente al Cromo, su contenido varía de 12 a 18%, pero el contenido de Carbono es bajo <0.2%. Los tipos más comunes son el AISI 430, 409 y 434. Las propiedades básicas son: Buena resistencia a la corrosión. La dureza no es muy alta y no pueden incrementarla por tratamiento térmico.

Principales aplicaciones: Equipo y utensilios domésticos y en aplicaciones arquitectónicas y decorativas.

Los Aceros Inoxidables Austeníticos. (Serie 300): Son los más utilizados por su amplia variedad de propiedades, se obtienen agregando Níquel a la aleación, por lo que la estructura cristalina del material se transforma en austenita y de aquí adquieren el nombre. El contenido de Cromo varía de (16 a 28)%, el de Níquel de (3.5 a 22)% y el de Molibdeno (1.5 a 6)%. Los tipos más comunes son el AISI 304, 304L, 316, 316L, 310 y 317. Las propiedades básicas son: Excelente resistencia a la corrosión, excelente factor de higiene - limpieza, fáciles de transformar, excelente soldabilidad, no se endurecen por tratamiento térmico, se pueden utilizar tanto a temperaturas criogénicas como a elevadas temperaturas. (Avner 1964).

2.4.- SOLDADURA.

2.4.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA SOLDADURA POR ARCO.

Es un proceso de soldadura donde la unión es producida por el calor generado por un arco eléctrico. La energía eléctrica es el flujo de electrones a través de un circuito cerrado. Cuando ocurre una apertura del circuito, los electrones se mueven a gran velocidad y saltan a través del espacio libre entre dos partes del circuito (Electrodo - Pieza), produciendo una chispa eléctrica. Si se tiene la suficiente torsión o voltaje, se pueden hacer fluir los elementos continuamente. A través de ésta apertura se forma el arco eléctrico, fundiéndose el material del electrodo a medida que se aporta un proceso SMAW o se mantiene como en el proceso TIG, con o sin material de adición al baño de fusión (el aporte no pasa por el arco eléctrico, de ahí la alta calidad del metal depositado). El arco eléctrico es, por lo tanto, un flujo continuo de electrones a través de un medio gaseoso, que genera luz y calor.

2.4.2.- TRANSFERENCIA METÁLICA.

La transferencia de metal del electrodo a través del arco se produce por gotas, las cuales son tan pequeñas que pueden desplegarse libremente, o también pueden ser grandes que al pasar del electrodo al baño de fusión se unan y formen un cortocircuito en el breve paso de la distancia de arco.

Las gotas están recubiertas de escoria líquida y son transferidas al metal base por fuerzas electromagnéticas: éstas, al tomar contacto con la pileta líquida, son absorbidas por la tensión superficial de la misma, dando como resultado de la fusión entre dos metales y su posterior solidificación el cordón de soldadura.

Las gotas finas producen un cordón más liso que las gotas gruesas y cuanto más finas sean las gotas, más estable arde el arco. Esto sirve especialmente para soldadura con corriente alterna, en el cual la corriente pasa dos veces por cero en cada periodo. Además, las gotas finas funden rápidamente, ya que la gota gruesa permanece colgada del electrodo más tiempo a causa de su inercia para desprenderse y, por lo tanto, se retarda la fusión del electrodo.

2.4.3.- SOLDADURA MANUAL CON ELECTRODOS REVESTIDOS.

La base fundamental de un buen cordón de soldadura es encender correctamente el arco y mantenerlo en forma continua y estable todo el tiempo que sea necesario y sin variar a lo largo del cordón la longitud del arco (1,3 a 3 mm según el tipo de electrodo).

La soldadura con electrodo revestido implica para el soldador un doble movimiento a coordinar de su brazo: hacia abajo, para mantener la longitud del arco mientras se consume el electrodo, y mantener el ángulo de la traslación lateral en el sentido de avance para la conformación del cordón y, donde lo requiera el procedimiento, un tercer movimiento de oscilación (Figura. 2.1. (ESAB 2010)).

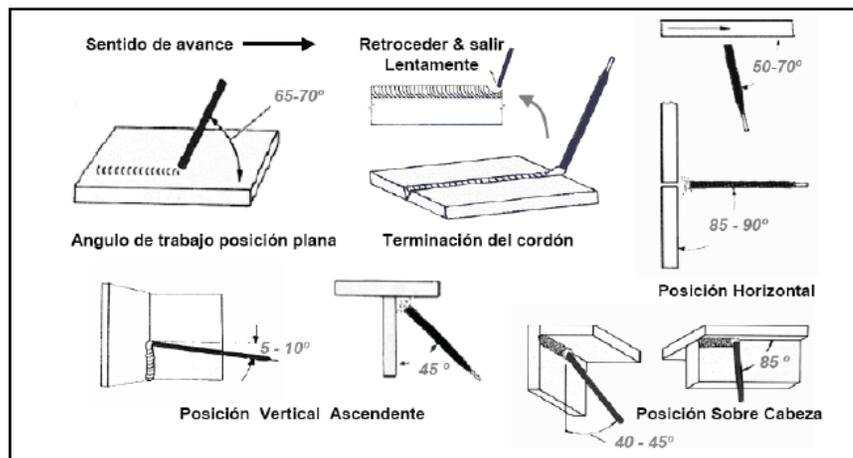


Figura 2.1. Técnicas de soldadura. (ESAB 2010).

2.5.- SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO MANUAL CON ELECTRODO METÁLICO REVESTIDO.

Idea del proceso.

La soldadura por arco eléctrico manual con electrodo revestido o simplemente "Soldadura Eléctrica", como la conocemos en nuestro medio, es un proceso de unión por fusión de piezas metálicas.

Para lograr la unión, se concentra el calor de un arco eléctrico establecido entre los bordes de las piezas a soldar y una varilla metálica, llamada electrodo, produciéndose una zona de fusión que, al solidificarse, forma la unión permanente.

Principio de funcionamiento de la soldadura por arco eléctrico El equipo consta de: Figura. 2.2. (EXSA-OERLIKON 1995).

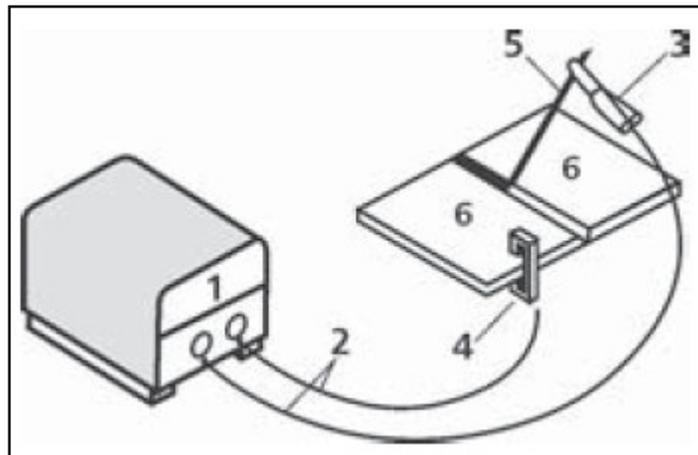


Figura 2.2. Partes del circuito de soldadura por arco eléctrico. (EXSA-OERLIKON 1995).

- 1.- Generador de corriente (Fuente de poder)
- 2.- Cables de conexión
- 3.- Porta-Electrodo
- 4.- Masa o tierra
- 5.- Electrodo
- 6.- Pieza de trabajo

El circuito se cierra momentáneamente, tocando con la punta del electrodo a la pieza de trabajo, y retirándola inmediatamente a una altura preestablecida, formándose de esta manera un arco. El calor funde un área restringida del material base y la punta del electrodo, formando pequeños glóbulos metálicos, cubiertos de escoria líquida, los cuales son transferidos al metal base por fuerzas electromagnéticas, con el resultado de la fusión de dos metales y su solidificación a medida que el arco avanza, según puede verse en la Figura. 2.3. (EXSA-OERLIKON 1995).

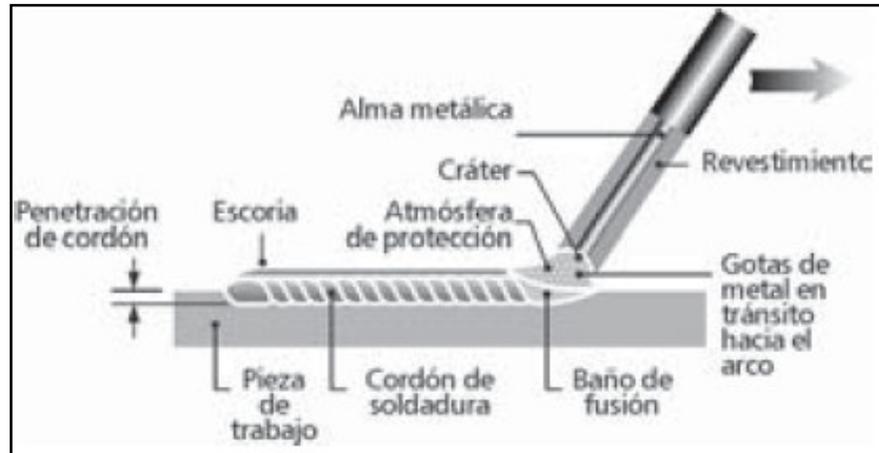


Figura 2.3. Fusión del electrodo. (EXSA-OERLIKON 1995).

- Alma del electrodo
- Revestimiento
- Gota en formación
- Escoria líquida
- Arco
- Metal base
- Baño de fusión y cráter del metal base en fusión
- Escoria sólida
- Cráter del electrodo
- Protección gaseosa
- Transferencia del metal (gotas)
- Cordón depositado
- Penetración

2.6.- NOCIONES DE ELECTRICIDAD CON RELACIÓN AL ARCO ELÉCTRICO.

Para comprender mejor la aplicación del arco eléctrico a la soldadura, es necesario conocer ciertos principios fundamentales relacionados con la electricidad.

a) El circuito eléctrico. La corriente eléctrica es un flujo de electrones que circula por un conductor en un circuito cerrado, denominado circuito eléctrico.

b) El circuito de soldadura por arco eléctrico. La corriente fluye a partir del borne de la máquina de soldar, donde se fija el cable del electrodo (1), y termina en el borne de la máquina, donde se fija el cable de tierra o de trabajo (2).

Como puede observarse en la Figura. 2.4, a partir del punto (1) la corriente fluye al porta-electrodo y por éste al electrodo; por el extremo del electrodo salta la electricidad a la pieza formando el arco eléctrico; sigue fluyendo la electricidad por el metal base al cable de tierra (2) y vuelve a la máquina.

El circuito está establecido sólo cuando el arco se encuentra encendido.

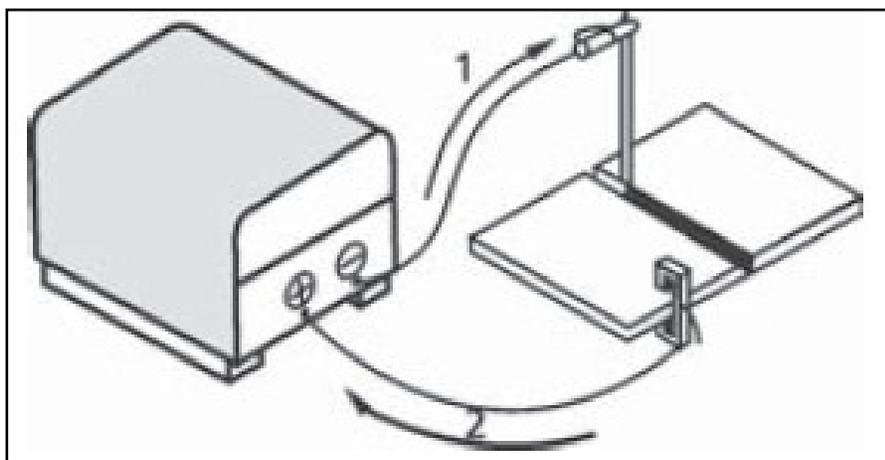


Figura 2.4. Flujo eléctrico. (EXSA-OERLIKON 1995).

c) Voltaje y amperaje. El agua circula a lo largo de un tubo, si existe una presión que lo impulse; en la misma forma, la corriente eléctrica fluye o circula a través de un circuito, si existe una «presión», que impulse el flujo de electrones dentro de un conductor (máquina en funcionamiento). Esta “presión”, que induce una corriente eléctrica, se llama diferencia de potencial, tensión o voltaje.

El voltaje se expresa en voltios y se mide con el voltímetro; algunas máquinas de soldar poseen voltímetro y un regulador de voltaje.

La cantidad de agua, que pasa por un tubo, se mide por una magnitud en una unidad de tiempo (metros cúbicos por segundo). En igual forma se utiliza, para expresar la magnitud de corriente eléctrica, la cantidad de electricidad por segundo.

La unidad utilizada es el Columbio por Segundo, lo que se expresa en Amperios, y se mide con un instrumento llamado amperímetro. (EXSA-OERLIKON 1995).



2.7.- MATERIALES DE APORTE PARA SOLDADURA.

2.7.1.- GENERALIDADES.

Los materiales de aporte son propiamente los electrodos, varillas, alambres, flujos, etc. que constituyen el metal de aportación en la soldadura.

Técnicamente sería muy confuso y muchas veces imposible seleccionar el material de aporte entre la gran variedad de marcas y tipos adecuados para cada trabajo, proceso de soldadura y metal base, si no existieran adecuados sistemas de normalización para estos materiales.

EE.UU. tiene las Normas AWS; Alemania las Normas DIN; Japón las Normas JIS; Inglaterra la Norma BS; Rusia la Norma GOST; Europa las Normas EN, La Norma Técnica de mayor difusión y de empleo más generalizado es la establecida por la American Welding Society - AWS (Sociedad Americana de Soldadura), con la que normalmente una marca en cada país establece las respectivas equivalencias de sus productos.

Esta Norma nos servirá de guía para un estudio esquemático de los materiales de aporte en los procesos de soldadura de mayor empleo en el país. Una información detallada puede obtenerse por la AWS, Serie A5.X, que hasta 1993 contaba con 22 especificaciones de materiales de aporte para soldadura.

2.7.2.- SOLDADURA ELÉCTRICA MANUAL.

Los Electroodos metálicos: Constituyen un factor de gran importancia para obtener buenos resultados en la soldadura.

Están compuestos de un núcleo metálico y un revestimiento químico. El Núcleo es una varilla metálica con una definida composición química para cada metal a que está destinado el electrodo. Los diversos elementos componentes del núcleo, como el hierro, carbono, manganeso, silicio, fósforo, azufre y otros, proporcionan diferentes propiedades y características a la junta soldada. El núcleo metálico constituye la base del material de aporte, que es transferido a la pieza en forma de gotas, impulsado por la fuerza del arco eléctrico. El Revestimiento, que se aplica en torno del núcleo metálico, es un compuesto de composición química definida para cada tipo de electrodo.

Funciones del revestimiento: Cumple funciones indispensables y decisivas en la ejecución y calidad de la soldadura. Estas funciones podemos clasificarlas en:

Funciones eléctrica:

- Permitir el empleo de la corriente alterna. Como es sabido, la corriente alterna cambia de polaridad 120 veces por segundo, creando en consecuencia una gran inestabilidad en el arco. Este problema ha sido solucionado, agregando a los revestimientos algunos elementos químicos que, al quemarse en el arco, producen gases especiales ionizados que mantienen la continuidad del arco. Cualquier electrodo para corriente alterna puede ser empleado también con corriente continua, pero no todos los electrodos fabricados para corriente continua pueden ser utilizados con corriente alterna.
- Facilitar el encendido del arco y mantenerlo con facilidad durante la ejecución de la soldadura.

Funciones metalúrgica:

- Proteger el metal fundido de los gases dañinos del aire. Algunos elementos del revestimiento forman, al quemarse, una capa de gases que rodea al arco, protegiendo a las finísimas gotas de metal que son proyectadas por el arco contra el contacto con el aire, así como al metal fundido del charco de fusión. El aire contiene oxígeno y nitrógeno en grandes cantidades, las que al combinarse con el metal fundido forman óxidos y nitruros debilitándolo, haciéndolo poroso, frágil y menos resistente a la tracción y al impacto.
- Formar la escoria protectora del metal caliente. Ciertas materias del revestimiento se funden y se mezclan con el metal de soldadura y van recogiendo las impurezas del metal, haciéndolas flotar en la superficie del metal fundido. Así se forma la escoria que protege al cordón caliente, retardando su enfriamiento, para que no llegue a templarse por el contacto violento con el aire frío, permitiendo que los gases escapen del metal.

2.8.- COMPOSICIÓN GENÉRICA DEL REVESTIMIENTO.

En el revestimiento de un determinado tipo de electrodo pueden intervenir 10 o más componentes químicos. Cada elemento tiene un efecto prefijado, o varios a la vez, en el momento de soldar y en los resultados finales. Los elementos, que intervienen en la composición de los revestimientos, son minerales, silicatos, ácidos, fundentes, bases, sustancias orgánicas y, por los efectos que producen o por la función que desempeñan, podemos clasificarlos en 4 grupos principales:

- Elementos o materiales ionizantes. Que facilitan el encendido y mantenimiento del arco y permiten que éste arda establemente, de modo tal que las gotas de metal provenientes del electrodo fluyan hacia el metal base de manera suave y uniforme.

- Elementos generadores de gases protectores. Que al arder producen gases protectores del arco principalmente CO_2 y no permiten que elementos extraños entren en la composición del metal fundido, lo que haría que éste pierda sus propiedades y características. Algunas veces actúan en forma de cubierta o escudo o también combinándose con el oxígeno y el nitrógeno.
- Elementos productores de escoria. Su misión consiste en proteger el material fundido contra la entrada de oxígeno y nitrógeno del aire, lo que se consigue tapando el baño de fusión mediante una capa de escoria, que asimismo debe retrasar la solidificación del material y, en consecuencia, prevenir un temple no deseado y, al mismo tiempo, facilitar la efusión y expulsión de los gases del metal fundido.
- Elementos a portantes de materiales de aleación. Actúan en dos sentidos: o bien se mezclan con el metal fundido en forma de componentes de la aleación metálica o bien actúan como desoxidantes y desnitradores para mejorar la calidad de la aleación. Propiedades como la resistencia a la tracción, la dureza, resistencia a la corrosión, etc. pueden ser mejoradas mediante la incorporación de compuestos metálicos en el revestimiento. (EXSA-OERLIKON 1995). Véase Tabla 2.1

Tabla 2.1. Resumen de las funciones de algunas materias primas. (EXSA-OERLIKON 1995).

MATERIAS PRIMAS	FUNCION PRINCIPAL	FUNCION SECUNDARIA
MINERALES		
Oxido de hierro	Agente oxidante - Da características de acidez al revestimiento	Estabiliza el arco
Rutilo (TiO_2)	Forma escoria - Estabiliza el arco	-----
Cuarzo (SiO_2)	Forma escoria	-----
FUNDENTES		
Fluorita	Fluidifica escoria - Da basicidad	-----
Caolín	Forma escoria	Estabiliza el arco - Da resistencia al revestimiento
Talco	Forma escoria	
Feldespato	Forma escoria	
Amianto	Forma escoria - Da resistencia al revestimiento	
Silicato de potasio	Estabiliza arco - Forma escoria - Anglomera	-----
Silicato de sodio	Forma escoria - Anglomera	Estabiliza el arco

2.9.- ZONA AFECTADA POR EL CALOR.

La zona afectada por el calor se genera por el gradiente térmico necesario para fundir los metales, tal como se ilustra en la figura 2.5.

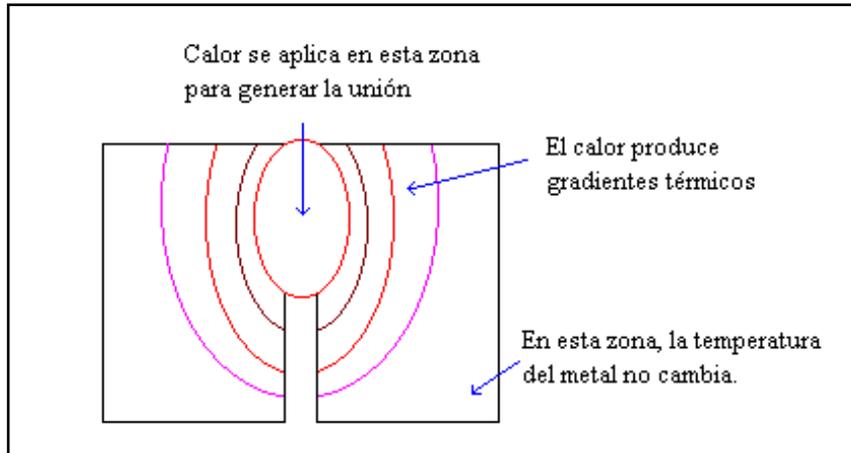


Figura 2.5. La zona afectada por el calor. (The Procedure Handbook of Arc Welding, 1995.)

La Figura 2.5, representa la vista en planta de dos placas metálicas que serán unidas por medio de un proceso de soldadura. La fuente de calor aplicada produce gradientes de temperatura en las placas. Este gradiente se representa por las líneas en colores alrededor de la zona donde se aplica el calor. En la zona de la unión, el metal alcanza una temperatura elevada. En las zonas lejanas a la unión, el metal prácticamente no sufre cambio alguno de temperatura. Este calentamiento no uniforme puede generar problemas de esfuerzos residuales en la zona cercana al cordón de soldadura, lo cual podría afectar la resistencia estructural de la unión. Sin embargo, el efecto más severo de la zona afectada por el calor es el cambio en la microestructura, y por consiguiente en las propiedades del metal. En la Figura 2.6 se muestra un esquema de la microestructura que se formaría en la zona afectada por el calor cuando se suelda una placa de acero hipoeutectoide. Básicamente pueden identificarse tres zonas distintas en la zona afectada por el calor. La primera zona consiste en el pozo de metal líquido que se forma cuando se aplica calor a las piezas. Este pozo solidifica formando granos alargados que siguen la dirección del gradiente térmico en la pieza. La segunda es una zona intermedia que siempre permanece en estado sólido durante todo el proceso, pero que se calienta a elevadas temperaturas y luego se enfría a una rapidez moderada debido a que la diferencia de temperatura con el metal cercano es relativamente pequeño. Como se observa en el diagrama hierro-carbono de la figura 2.6, la temperatura de esta zona intermedia se encuentra en el rango de formación de austenita. La microestructura original del acero (probablemente ferrita +

perlita si no se aplicaron tratamientos térmicos) cambia a austenita, y debido a que el enfriamiento es moderado, los granos de austenita formados tienden a ser relativamente grandes. (The Procedure Handbook of Arc Welding, 1995.)

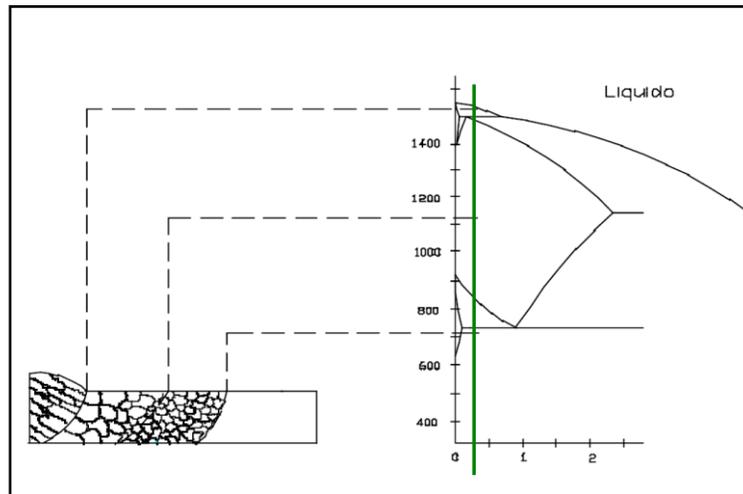


Figura 2.6. Diagrama hierro-carbono. (The Procedure Handbook of Arc Welding, 1995.)

La tercera zona también se encuentra en el rango de formación de austenita, sin embargo su enfriamiento es relativamente rápido, debido principalmente a que está en contacto con un gran volumen de metal a una temperatura inferior. Debido a este enfriamiento rápido, los granos de austenita formados tendrán un tamaño menor que los formados en la zona intermedia. El metal que durante el proceso se encuentre a una temperatura menor que la temperatura A_1 (aprox 727°) no sufre cambios metalúrgicos significativos, por lo que se encuentra fuera de la zona afectada por el calor.

Generalmente el tamaño de los granos formados durante el proceso de soldadura se conserva a temperatura ambiente. Esto significa que las propiedades mecánicas en la zona cercana a la unión no serán uniformes. Por ejemplo, sabemos que los granos grandes producen baja dureza, y los granos pequeños proporcionan mayor dureza a un metal. Recordemos que la dureza es directamente proporcional al esfuerzo último, e inversamente proporcional a la ductilidad. Por tanto, la zona con granos grandes tendrá poca resistencia a la tensión y elevada ductilidad, mientras que la zona con granos pequeños tendrá elevada resistencia a la tensión, y al mismo tiempo elevada fragilidad. Dependiendo de la aplicación de la unión, esta variación en las propiedades mecánicas puede generar problemas de fallas en la soldadura, tal como se muestra en la Figura 2.7. (The Procedure Handbook of Arc Welding, 1995.)

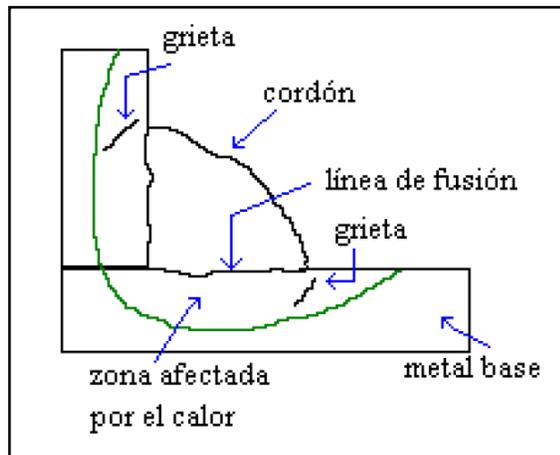


Figura 2.7. Problemas de fallas. (The Procedure Handbook of Arc Welding, 1995.)

2.10.- PROPIEDADES DE LOS ACEROS.

Podemos decir que los últimos cien años, se han caracterizado por la masiva utilización del acero.

El motivo principal está centrado en la enormidad de usos que se le puede dar, y la versatilidad de sus propiedades mecánicas. Otra ventaja, es que algunas de estas propiedades pueden ser modificadas para ajustarse al destino final que se le quiera dar al producto.

Dentro de las propiedades podemos mencionar las siguientes:

- Ductilidad
- Dureza
- Resistencia
- Maleabilidad
- Tenacidad

Ductilidad: se refiere a la capacidad del acero para deformarse, al soportar esfuerzos de tracción sin llegar a la rotura.

Dureza: se define como la propiedad del acero a oponerse a la penetración de otro material.

Resistencia: específicamente el de la resistencia a la tracción, tendremos que ésta es la fuerza máxima por unidad de área, que puede soportar el acero al ser estirado.

Maleabilidad: es la capacidad que presenta el acero de soportar la deformación, sin romperse, al ser sometido a un esfuerzo de compresión.



Tenacidad: viene siendo la conjugación de dos propiedades: ductilidad y resistencia. Un material tenaz será aquel que posee una buena ductilidad y una buena resistencia al mismo tiempo.

La forma en que se determinan con qué propiedades cuenta un material, es mediante la realización de diferentes pruebas o ensayos. En base a ellos es posible determinar qué material es el que emplearemos, por ejemplo, en levantar determinada estructura o edificio. (Gerdau AZA. 2002).

Dentro de los ensayos a que se someten los aceros, destacaremos los más utilizados:

- Ensayo de dureza
- Ensayo de impacto

2.11.- ENSAYO DE DUREZA.

El ensayo de dureza mide la resistencia de un material a la penetración de un punzón o una cuchilla. Este penetrador es también llamado durómetro.

El durómetro usualmente consta de una bolita, pirámide o un cono de un material mucho más duro que el acero que se está midiendo.

La profundidad hasta la cual penetra este material nos entrega un valor, el que está tabulando, obteniéndose así una medida de la dureza del acero.

Su uso está ampliamente extendido, especialmente dentro de las áreas de conformado y de tratamiento térmico de los aceros. Una utilización práctica, es la de dar una buena correlación entre las medidas que entrega y otras propiedades que pueden medirse directamente, como la penetración del temple de un acero.

Dado que el ensayo de dureza puede hacerse fácilmente, la información obtenida puede ser evaluada inmediatamente. Por estas razones y por su carácter no destructivo se le usa ampliamente para control de calidad en producción.

Los ensayos de dureza más utilizados en el campo ingenieril, son el Rockwell y el Brinell. Figura. 2.8.

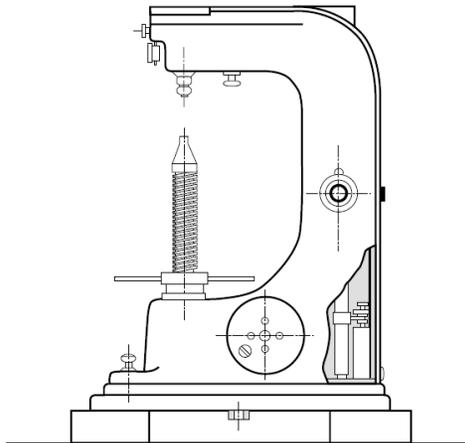


Figura 2.8. Máquina Rockwell. (Gerdau AZA. 2002).

Dureza Brinell: En él, una esfera de 10 mm de diámetro, usualmente de un acero endurecido, se presiona contra la superficie del material bajo una carga estática de 3.000 kg. El tamaño de la huella nos entrega una medida de la dureza bajo las condiciones del ensayo.

Dureza Rockwell: A diferencia del anterior, en el test de Rockwell se aplica primero una carga pequeña (de menos de 10 kg), lo que hace que el indentador penetre hasta una cierta profundidad. Luego se aplica la carga mayor predeterminada. La diferencia en la penetración nos entrega una medida de la dureza del acero.

2.12.- ENSAYO DE IMPACTO.

Utilizado para medir la tenacidad del acero. En esta prueba, una probeta especial del acero en cuestión, es sometida a un fuerte impacto instantáneo, producto del cual ésta se rompe muy rápidamente (véase figura 2.9). Este hecho entrega una medida de la energía que se debe aplicar para su fractura, lo que se traduce en un índice de su tenacidad.

Si bien los resultados de los ensayos de impacto no se utilizan directamente para el diseño, son muy útiles como herramienta de la producción, ya que permiten la comparación de un acero con otro que ha dado resultados satisfactorios. Existen dos tipos de ensayo que han alcanzado gran difusión: Charpy e Izod. Figura 2.9.

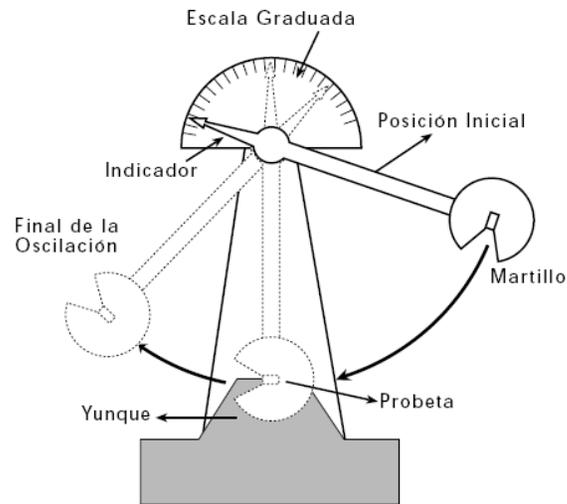


Figura 2.9. Esquema de la máquina Charpy para el ensayo de impacto. (Gerdau AZA. 2002).

2.13.- DISTORSIONES Y ESFUERZOS RESIDUALES.

La distorsión es causada por el enfriamiento del cordón después de realizar la soldadura. Figura 2.10.

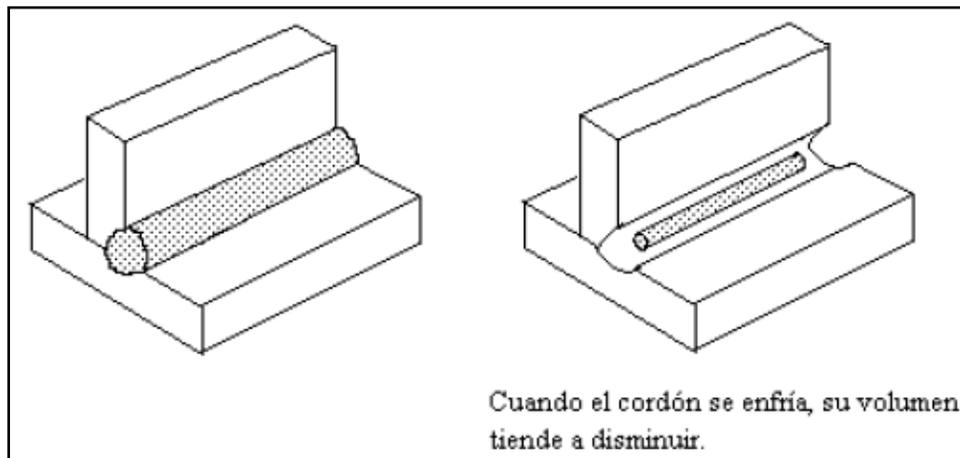


Figura 2.10. Enfriamiento del cordón de soldadura. (The Procedure Handbook of Arc Welding, 1995.)

La contracción natural del metal en el cordón a medida éste se enfría puede causar la distorsión de la unión. Esta distorsión se debe a los esfuerzos que se generan a medida el metal sólido del cordón se enfría. Cuando las piezas soldadas son delgadas y no pueden soportar dichos esfuerzos, éstas pierden su geometría original, tal como se muestra en la Figura 2.11.

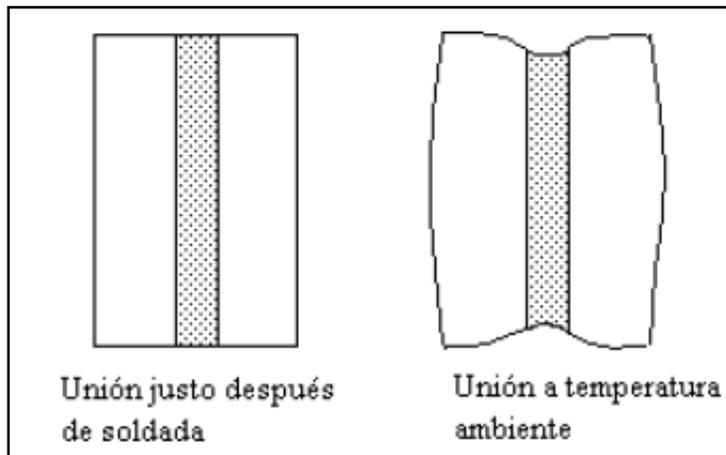


Figura 2.11. Geometrías de las piezas soldadas. (The Procedure Handbook of Arc Welding, 1995.)

Cuando las piezas a unir son suficientemente grandes, de tal forma que los esfuerzos generados durante el enfriamiento del cordón pueden ser absorbidos sin provocar deformaciones significativas, se generan esfuerzos internos en el cordón y el metal base. A estos esfuerzos se les llama esfuerzos residuales. Una gráfica típica de los esfuerzos residuales en un cordón de soldadura se muestra en la Figura 2.12.

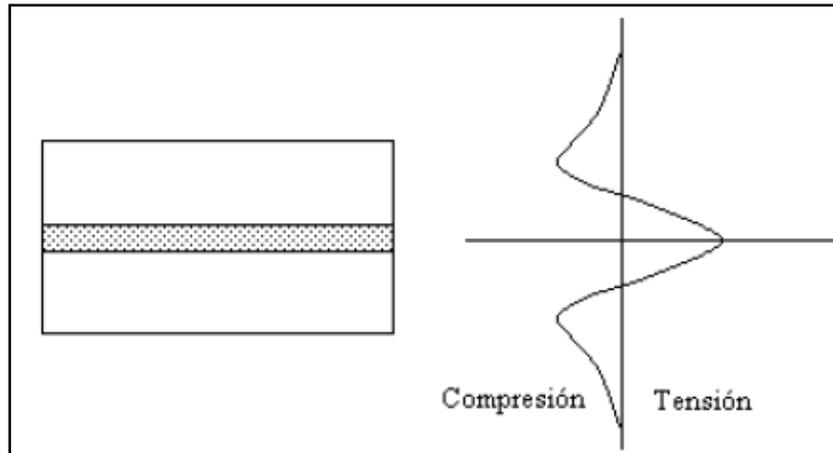


Figura 2.12. Esfuerzos residuales. (The Procedure Handbook of Arc Welding, 1995.)

Debido a la transferencia de calor del cordón hacia el metal base, el cordón se enfría (y por tanto se contrae) mientras que el metal base cercano se calienta (y por tanto tiende a expandirse). Esto causa la distribución de esfuerzos residuales mostrada en el gráfico de la figura 2.12.

La distorsión y los esfuerzos residuales pueden eliminarse precalentando la pieza antes de ser soldada. Con ello se logran gradientes de temperatura menores, y un enfriamiento uniforme de toda la pieza lo cual trae como



consecuencia una contracción uniforme del material. Los esfuerzos residuales también pueden eliminarse calentando la pieza después de ser soldada y dejándola enfriar lentamente. Este calentamiento le permite al metal facilidad para que los esfuerzos en tensión se anulen con los esfuerzos en compresión. (The Procedure Handbook of Arc Welding, 1995.)

2.14.- REVENIDO.

Este tratamiento térmico es efectuado después del templado con el fin de obtener modificaciones que le confieran las características de empleo deseadas. Este tratamiento provoca la formación de una estructura más próxima al estado de equilibrio, que la obtenida mediante el templado. Consiste en un calentamiento a temperaturas inferiores a A_1 , un mantenimiento durante largo tiempo, seguido de un enfriamiento al aire. Mediante este tratamiento se consigue:

- Eliminar las tensiones internas provocadas por el cambio de estructura, transformando la martensita tetragonal en cúbica.
- Disminuir la dureza de temple a los valores adecuados para el uso de la pieza.
- Transformar en perlita ó bainita, la austenita residual. Dentro del amplio intervalo de temperaturas de revenido, a medida que ésta aumenta, la dureza y resistencia a la tracción disminuyen, aumentan la resiliencia y alargamiento.

2.15.- INFLUENCIA, COMPORTAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE ALEACIÓN EN LA SOLDABILIDAD Y MODELOS DE DUREZA.

Con la finalidad de analizar el efecto producido por los diferentes elementos de aleación de los aceros en su soldabilidad, se presenta un resumen de esta influencia publicada por diferentes autores (Sétérian, D; Wanke, S.).

2.15.1.- Carbono.

Es el elemento base para fijar la soldabilidad y generalmente es considerado como el elemento aleante más importante en los aceros (Mathew, P.). A medida que aumenta la cantidad de carbono, incrementa la dureza, la resistencia a la tracción, así como la respuesta a los tratamientos térmicos de endurecimiento. Por otro lado, si se eleva el porcentaje de carbono, se reduce la soldabilidad, también interviene para aumentar la capacidad de templabilidad proporcionando una unión frágil o para formar precipitados de carburos complejos con los elementos aleantes del metal base.

El carbono puede existir disuelto en el hierro o en formas combinadas como la cementita (Fe_3C).

En la Figura 2.13. Se comparan las transformaciones experimentadas por los aceros al carbono en el momento de la soldadura por arco, caracterizadas por la dureza.

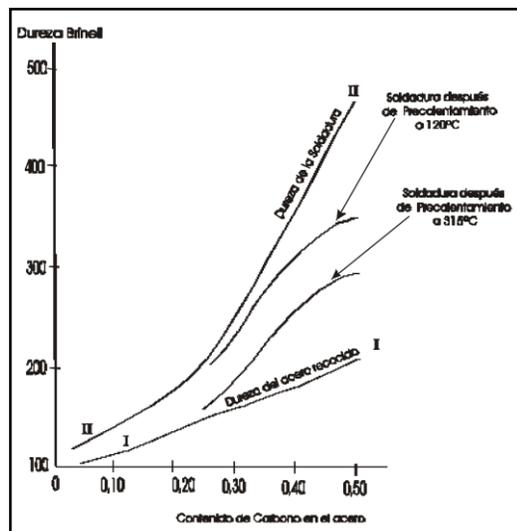


Figura 2.13. Variación de las características mecánicas de la soldadura por arco en función del contenido de carbono. (Sétérian, D)

En este gráfico vemos que, el aumento a la concentración de carbono incrementa la diferencia de dureza entre el acero recocido (curva I) y el acero soldado (curva II). Esta es de:

- 30 a 40 Brinell, para el acero extradulce.
- 50 Brinell para el acero con 0.25%C. Esta concentración es un punto de inflexión.
- 80 a 100 Brinell para el acero con 0.30%C.
- Más de 250 Brinell para el de 0.50%C.

La curva de soldabilidad decrece en sentido inverso de la concentración de carbono del acero base, parece pues que la soldabilidad es menor a medida que la diferencia de dureza entre el acero recocido y el acero soldado es mayor.

El precalentamiento se aplica a los aceros carburados y a los aceros especiales porque reduce notablemente la diferencia de durezas, aumentando notablemente su soldabilidad.

Esta mejora es más sensible a medida que la temperatura de precalentamiento sea mayor. La Figura 2.13 muestra claramente el



desplazamiento de las curvas de dureza en función del desplazamiento del acero base, para (120 y 315)°C.

2.15.2.- Azufre.

Generalmente es una impureza indeseable en los aceros. Se realizan esfuerzos especiales para eliminarlo durante la fabricación. En cantidades superiores a 0.05% puede causar fragilidad y reducir la soldabilidad (Mohamed, Y. S.).

Como elemento de aleación entre 0.1 a 0.3% tiende a mejorar la maquinabilidad de los aceros, los cuales son conocidos como “resulfurados” o “corte libre”. Los aceros resulfurados no son recomendables para soldarlos.

En la soldadura por arco, a veces, se puede adicionar manganeso para eliminarlo parcialmente bajo la forma de sulfuro de manganeso (MnS).

2.15.3.- Fósforo.

Durante el proceso de soldadura, el fósforo actúa en el momento de la solidificación formando el fosfuro de hierro FeP_3 (Sétérian, D) que proporciona fragilidad al metal y además aumenta el tamaño de grano del metal fundido, reduce la soldabilidad cuando está presente en cantidades superiores a 0.04% especialmente en presencia del azufre.

Los vagones de transporte de carbón se fabrican con aceros aleados con fósforo que son más resistentes que los ordinarios, tanto química como mecánicamente. Estos aceros son soldados con electrodos básicos que tengan en su composición química cromo y cobre.

En ciertos aceros (tipo Cor-Ten) en concentraciones de (0.15 a 0.20)%P frecuentemente unido al cromo y al cobre, el fósforo proporciona a esta variedad, cualidades de resistencia química contra ciertos gases oxidantes, así como mayor resistencia a la abrasión (Sétérian, D), pero su soldabilidad se hace dificultosa.

Es recomendable adicionar en el revestimiento carbonato de calcio porque tiene alguna influencia a alta temperatura, en la fijación del fósforo para eliminarlo en la escoria bajo la forma de fosfato de calcio.

2.15.4.- Silicio.

Es un elemento alfégeno, reductor energético del acero, en los aceros laminados se usa como desoxidante en cantidades de 0.2%. El núcleo de la soldadura generalmente contiene 0.5% de silicio como desoxidante.

Algunos metales de aporte pueden contener hasta 1% para efectuar la limpieza y la desoxidación. La soldadura con contenido de silicio tiende a incrementar sustancialmente su resistencia mecánica pero su ductilidad disminuye, pudiendo ocasionar problemas de fisuras (Lord, M., Svensson, L.-E., & Bhadeshia, H. K.).

2.15.5.- Manganeso.

Considerado como un elemento gammógeno que favorece el temple, en general raramente su contenido sobrepasa del 2% en los aceros soldables, es un desoxidante energético y constituye un elemento importante en los electrodos y de las varillas de aporte por sus reacciones favorables con el metal líquido.

En los aceros que contienen por lo menos de 0.3 a 1.5%Mn, favorece en la desoxidación del acero, previene las inclusiones de sulfuro de hierro y aumenta la capacidad de endurecimiento, la presencia del manganeso incrementa la solubilidad del carbono en la austenita facilitando a formación de carburos.

En casos especiales en que se busque incrementar la dureza o resistencia al desgaste, el porcentaje de manganeso puede llegar hasta el 14% de manganeso generalmente para recubrimientos de piezas que van a sufrir esfuerzos de fricción.

El manganeso disminuye la velocidad crítica de enfriamiento del acero y aumenta la sensibilidad al sobrecalentamiento y contribuye a la fragilidad en el revenido.

En los aceros tratados térmicamente el manganeso incrementa: la resistencia a la tracción, el límite elástico, la resistencia a la fatiga, la fluencia lenta, la forjabilidad, la resistencia al revenido, la fragilidad en el revenido, la tendencia al crecimiento del grano, la formación de carburos y la dilatación térmica. El manganeso disminuye: la embutibilidad, la maquinabilidad, la conductividad térmica y eléctrica y la sensibilidad a la fractura frágil.

La curva de la Figura 2.14. (Sétérian, D), representa la influencia del manganeso en la dureza de la zona de sobrecalentamiento de una soldadura por arco, y en consecuencia en la soldabilidad metalúrgica. Este diagrama muestra como la templeabilidad del acero crece muy rápidamente, incluso con pequeñas cantidades de manganeso (de 1.25 a 1.5%Mn), al aumentar el contenido de carbono.

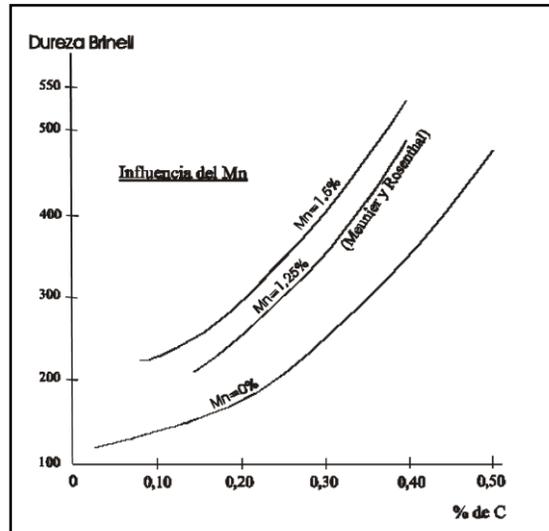


Figura 2.14. Influencia del contenido de manganeso del material base en las transformaciones durante el proceso de soldadura por arco, en función al contenido de carbono. (Sétérian, D).

No obstante, es necesario señalar (Sétérian, D), que las curvas corresponden a los aceros con contenidos elevados de manganeso y permanecen sensiblemente paralelas a la curva del acero con carbono solamente. De ello se deduce que la influencia del manganeso es más acentuada que la del carbono; existiendo un aumento de la dureza sin bajar notablemente la soldabilidad del acero.

Algunos autores (Sétérian, D) atribuyen al manganeso un poder de temple que está relacionado con el carbono.

2.15.6.- Cromo.

El cromo es un elemento alfégeno que suele estar con otros elementos como el níquel y el molibdeno, su influencia sobre la templabilidad es mucho mayor que la del manganeso. En algunos aceros puede causar una dureza excesiva y fisuras adyacentes a la soldadura.

El cromo presenta también el inconveniente de formar óxido de cromo, material refractario que dificulta la soldabilidad (Sétérian, D) que es necesario eliminar con una escoria básica, los electrodos con alma de acero al cromo deben poseer preferentemente revestimiento básico.

Este elemento actúa claramente sobre la templabilidad de la zona de transformación durante el proceso de soldadura Figura 2.15. En un acero con 0.5%Cr y 0.15%C, la dureza en la capa subyacente sobrepasa los 200 Brinell.

El cromo interviene como elemento de aleación (formando carburo de cromo) en numerosos aceros especiales soldables, tales como los aceros refractarios, los aceros resistentes a la fluencia como Cr-Mo, los aceros Cr-Ni y en los aceros refractarios con 20 a 30%Cr (Iqbal, S.).

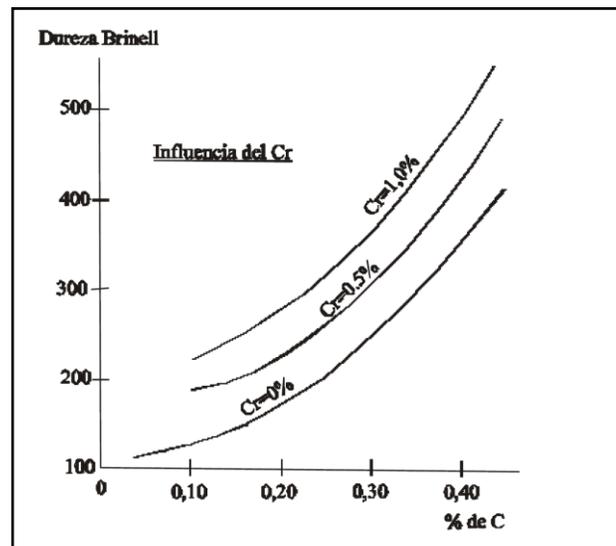


Figura 2.15. Influencia del contenido de Cromo sobre las características mecánicas después de la soldadura, en función al contenido de Carbono. (Sétérian, D).

2.15.7.- Molibdeno.

Los aceros soldables generalmente contienen por lo menos 0.3%Mo, que tiene la función de desoxidante y sobre todo de prevenir la formación de inclusiones de sulfuro de hierro (Hong, T., & DebRoy, A.).

La influencia del molibdeno es todavía más notoria que el cromo. En los aceros aleados, su concentración no debe sobrepasar el 0.35%. En la Figura 2.16. (Sétérian, D)., se observa la influencia del molibdeno más sensible que la del carbono y cromo, se puede apreciar que a partir del 0.35%Mo el poder del temple del acero aumenta notablemente y su soldabilidad metalúrgica disminuye; por consiguiente, se han de prever ciertas precauciones para la soldadura de los aceros que contengan este elemento.

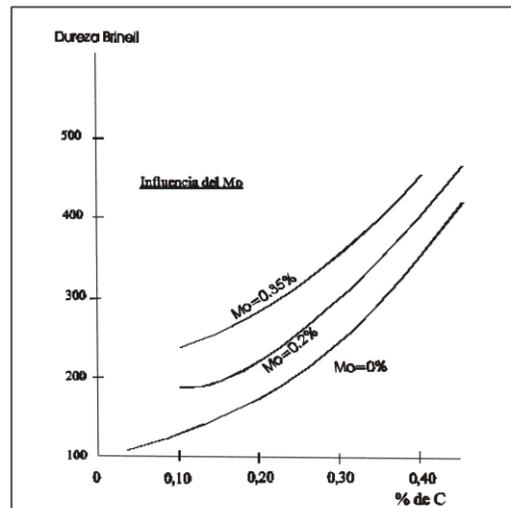


Figura 2.16. Influencia del contenido de Molibdeno en la dureza en soldadura, en función al contenido de Carbono. (Sétérian, D).

2.15.8.- Vanadio

Es un potente formador de carburos, estos sirven para afinar el grano de los aceros, la velocidad crítica de enfriamiento disminuye notablemente por la presencia del vanadio. La adición del vanadio generará un aumento en la resistencia a la tracción, límite de fluencia y en la dureza en el acero. Con valores por encima de 0.05% puede haber tendencia a que el acero se fragilice durante el tratamiento de alivio de tensiones (Wanke, S.).

CAPÍTULO 3

Marco metodológico

3.1.- NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.

Dado que con el siguiente trabajo de investigación, se trata de manifestar los fenómenos que se presentan en la junta soldada, con diferentes tipos de electrodos (AWS E7018 y AWS E7024), mediante la caracterización del mismo, se puede enmarcar dentro de una investigación descriptiva, ya que se evaluará la micro-estructura, micro-dureza e impacto, el efecto de la temperatura de postcalentamiento en cordones de soldadura por arco eléctrico, teniendo como base el acero de bajo carbono AISI 1020, cuando estas sean sometidas a los ensayos y otras variables presentes en los objetivos de ésta investigación.

3.2.- DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

La estrategia a utilizar, para cumplir con los objetivos planteados, consiste en dar una revisión al documental realizado por los investigadores, en cuantos a los ensayos pertenecientes en este trabajo y poder dar una apropiada explicación permitiendo obtener resultados confiables.

3.3.- POBLACIÓN Y MUESTRA.

En este caso de estudio, la población estuvo representada por el acero base bajo carbono AISI-1020 mientras que la muestra se conforma por un total de 28 probetas de 55x10x10(mm).

3.4.- TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Los procedimientos experimentales, son las técnicas y pasos a seguir para ejecutar los distintos ensayos; se aplico (impacto, micro-estructura y micro-dureza). Así como materiales equipos utilizados para lograr los objetivos planteados.

3.5.- MATERIALES A UTILIZAR.

Para este caso se tiene un acero base de bajo carbono AISI-1020 para la juntas, con una geometría de 3000x550x10mm; como materia de aporte se emplea electrodo (E7018 y E7024), la cual cuenta con un revestimiento externo, que reaccionará con el metal, con un diámetro de 3.25mm y largo 450mm. (Tabla 3.2 y Tabla 3.3)

3.6.- COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS MATERIALES.

En la composición química de los materiales se muestra en Tabla 3.1, es importante conocer su contenido de carbono y elementos; estos aceros se utilizan para la fabricación de piezas estructurales, este tendrá un comportamiento único y una caracterización determinada.

3.6.1.- COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO 1020.

Tabla 3.1. Composición química del acero 1020. (MEGA 02)

Componentes químicos	Porcentajes (%)
C	0.18-.23
Mn	0.30-.60
P	0.030
S	0.035
Si	(*)

Nota: Cuando el silicio (Si) es requerido, los siguientes rangos son los más usados Si= 0.10max %, Si= 0.10-0.20 %, Si= 0.15-0.35 %.

3.6.2.- COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ELECTRODO E7018 Y E7024.

Tabla 3.2. Composición química del electrodo E7018. (ESAB. 2010).

Componentes químicos	Porcentajes (%)
C	0.08
Mn	1.35
Si	0.40

Tabla 3.3. Composición química del electrodo E7024. (ESAB. 2010).

Componentes químicos	Porcentajes (%)
C	0.09
Mn	0.65
Si	0.40

3.7.- MATERIALES Y EQUIPOS DE PREPARACIÓN. (Fuente propia).

A continuación se presentan los materiales y equipo utilizados en la preparación y procedimientos de las muestras:

3.7.1.- MATERIALES Y EQUIPOS.

Equipos:

- Equipo de soldadura por arco eléctrico.
- Oxicorte.
- Tronzadora.
- Esmeril.
- Fresadora.
- Vernier.

3.7.2.- TRATAMIENTO TÉRMICO. (Fuente propia).

Materiales:

- Calculadora, Regla, Marcadores.
- Probetas con dimensiones de 55x10x10mm.

Equipos:

- Material de laboratorio (pinzas, guantes aislantes, soporte universal).
- Crisoles.
- Hornos De Mufla, Marca: Barnstead Thermolyne, Modelo: Franace 4800, Temp Max: 1200^oc.

3.7.3.- MICROESTRUCTURA. (Fuente propia).

Materiales:

- Probetas con dimensiones de 55x10x10mm.



- Papel abrasivo (lijas) de diferentes numeraciones: 120, 240, 320, 400, 600.
- Reactivos para la preparación de Nital, Picral, Agua regia.
- Alúmina en suspensión de 0.1 micrómetros.
- Alúmina en suspensión de 0.01 micrómetros.
- Algodón.
- Servilletas.

Equipos:

- Desbastadora de Cintas.
- Lupa de máximo 10x de aumento.
- Maquina de Darwin Quiroz.
- Lijadora de banda.
- Papeles abrasivos.
- Discos de pulido.
- Paños de pulido.
- Material de laboratorio (pinzas, etc.).

3.7.4.- MICRODUREZA E IMPACTO. (Fuente propia).

Materiales:

- Probetas con dimensiones de 55x10x10mm.
- Vernier.

Equipos:

- Durómetro Marca: Bueher, Modelo: Identamet, Serie: 1000.
- Péndulo.

3.8.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

3.8.1.- RECEPCIÓN DE MATERIAL ACERO AISI-1020.

Se consiguió laminas de aceros estructural AISI-1020, con unas dimensiones de 3000x550x10mm por la compañía Acero y Fundiciones C.A.

3.8.2.- CORTES DE LAS LÁMINAS.

La lamina, se subdividió en 4 partes iguales para cada electrodo con dimensiones de 750x550mm, esto se logró con un proceso de oxicorte. La unión utilizada fue a tope con un bisel de 60° realizado con un esmeril, este

bisel fue posible porque el espesor es mayor a 3 mm, el cual se hizo con la finalidad de obtener una mayor penetración del material de aporte para una mejor resistencia en la soldadura. (Figura 3.1).

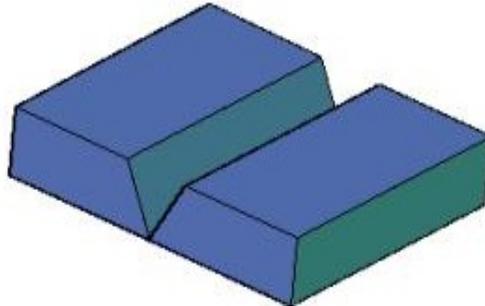


Figura 3.1. Corte de lámina. (Fuente propia).

3.8.3.- SOLDADURA DE LAS LÁMINAS.

Las láminas se soldaron a tope, se utilizó equipo de soldadura LINCOLN IDEALARC 250, SWITCH el proceso de arco eléctrico manual, con velocidad de pasada de 8 mm/s, dichos valores se mantuvieron fijos tanto para el electrodo E7018 como para el E7024. En cuanto al material de aporte se trabajó con electrodos bajo hidrogeno y rutilo de la serie E7018 y E7024, los electrodos fueron colocados en un horno previamente calentado a 125°C durante 30 minutos, con la finalidad de eliminar toda o gran parte de la humedad presente en el electrodo. Una vez seleccionado los materiales se procedió a la conformación del cordón de soldadura. (Figuras 3.4).

3.8.3.1.- PARÁMETRO DE SOLDADURA.

Tabla 3.4. Parámetro de soldadura. (Fuente propia).

	Amperaje (Amp.)	Voltaje (volt.)
E7018	140	22
E7024	140	22

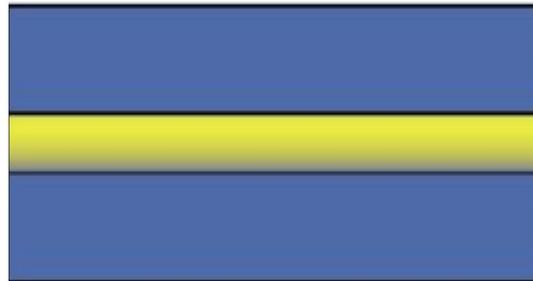


Figura 3.2. Lámina soldada. (Fuente propia).

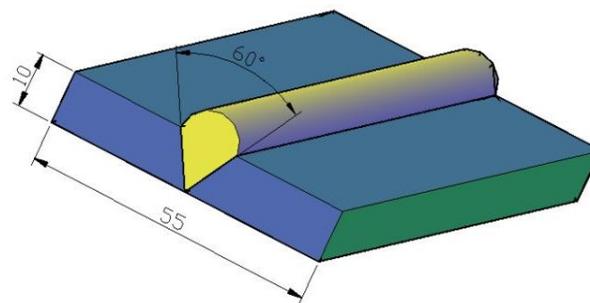


Figura 3.3. Lámina soldada en. (Fuente propia).

3.8.4.- CORTE DE LAS PROBETAS.

En el corte de probetas se utilizó una tronzadora, posteriormente se ejecutó el proceso de mecanizado en una fresadora, para obtener probetas con una geometría de 55x10x10mm y ranura con una profundidad 2mm con ángulo en (V) de 45° bajo la norma ASTM E-36, la cual se obtuvieron dos secciones de probetas. En las figuras se muestra la representación de los procesos de mecanizado (ver figuras).

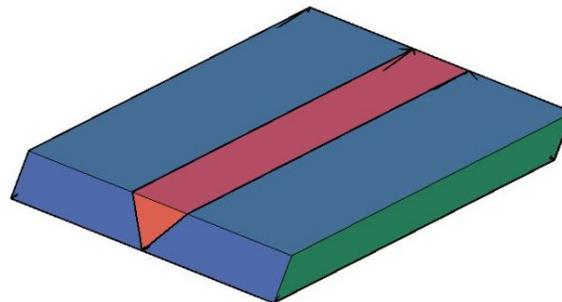


Figura 3.4. Probeta mecanizada. (Fuente propia).

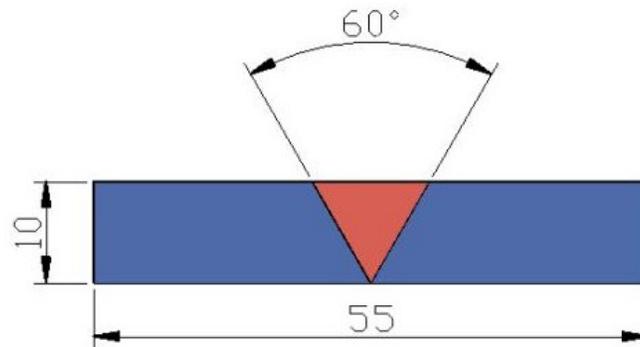


Figura 3.5. Probeta sin entalle 55x10x10mm. (Fuente propia).

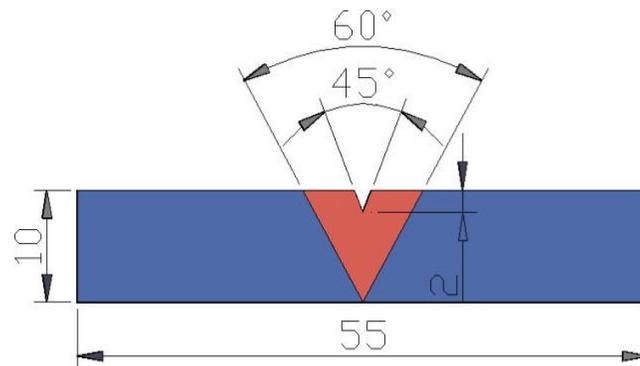


Figura 3.6. Probeta con entalle 55x10x10mm. (Fuente propia).

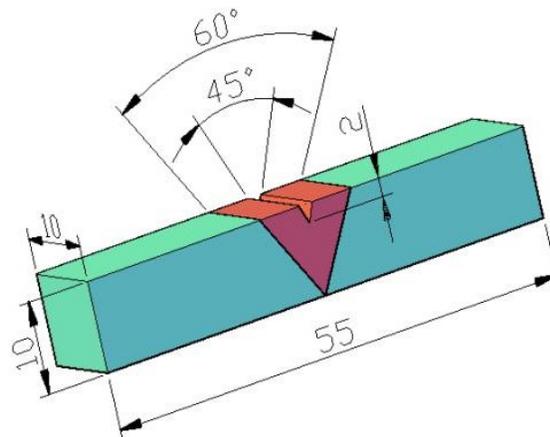


Figura 3.7. Probeta con entalle 55x10x10mm. (Fuente propia).

3.8.5.- POSCALENTAMIENTO.

Las probetas serán sometidas a un tratamiento térmico de postcalentamiento, con diferentes temperatura: $T_1= 600\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_2=625\text{ }^{\circ}\text{C}$ Y $T_3=650\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 30min y enfriado al aire libre. Como este tratamiento se

efectuará a temperatura inferior a la crítica, puede ser considerado como un caso particular de revenido. El tiempo de postcalentamiento y la variación de temperatura, es condición para este trabajo de grado. (Figura. 3.8, 3.9)



Figura 3.8. Horno Mufla. (Fuente propia).



Figura 3.9 Horno de Mufla. (Fuente propia).

3.8.6.- REALIZACIÓN DE ENSAYOS.

Se realizaron ensayos mecánicos y observaciones metalográficas a las muestras que fueron sometidas, a tratamiento térmico de pos-calentamiento y otras a temperatura ambiente, con la finalidad de analizarla.

3.8.6.1.- ENSAYOS CHARPY.

Este ensayo se utilizó, para medir la tenacidad de los electrodos E7018 y E7024 bajo la norma ASTM E - 36. Esta prueba en cuestión, es sometida a un fuerte impacto instantáneo, (véase Figura 3.10). Este hecho entrega una medida de la energía que se debe aplicar para su fractura, lo que se traduce en un índice de su fragilidad y ductilidad. Este ensayo se realizó en el Laboratorio de Materiales de la Escuela Ing. Civil de la Universidad de Carabobo.



Figura 3.10 Equipo de ensayos de impacto. (Fuente propia).

3.8.6.2.- ENSAYOS MICROESTRUCTURA.

En este ensayo observamos microscópicamente según las normas ASTM E 3-95, a fin de observar las características y estructura del Metal base (MB), Zona de calentamiento (ZC) y Metal de aporte (MF). Se realiza por reflexión de luz por un microscopio. (Ver Figura 3.11)



Figura 3.11. Microscopio óptico Metalgráfico. (Fuente propia).

3.8.6.2.1.- CARACTERIZACIÓN POR MICROSCOPIA ÓPTICA.

Para la caracterización del material base y de la junta soldada por Microscopía Óptica.

3.8.6.2.2.- PREPARACIÓN METALGRÁFICA.

La preparación de la muestra consiste en devastar, pulirla y atacarla químicamente antes de verla en el microscopio. Este proceso se hizo bajo los lineamientos de la norma técnica para preparación de probetas ferrosas y no ferrosas ASTM E3 – 01 y ASTM E407 – 99, con el fin de obtener un acertado análisis metalográfico. Para el ensayo metalográfico, se preparó la superficie de la probeta a partir del siguiente procedimiento:



Desbaste inicial: Se realizó un desbaste inicial para disminuir el espesor del cordón de soldadura utilizando para ello, una fresadora con porta fresa vertical, provisto de una fresa cilíndrica.

Desbaste Grueso: Este desbaste, se elaboró manualmente utilizando papeles de carburo de silicio (papel de lija) con tamaños de grano variables, que van desde el número 120 hasta el 240. Con éste último número, se consiguió poner al descubierto la superficie contenida en el cordón de soldadura, eliminándose así, las huellas circulares impresas por la fresa y obteniéndose una superficie completamente plana y con una baja rugosidad. Cada vez que se cambió de papel, se giró la muestra 90° a fin que desaparezcan las rayas que dejó la lija anterior.

Desbaste Intermedio: Para éste paso (a realizar manualmente), se utilizó papeles de carburo de silicio, cuyo tamaño de partícula de grano, se inició desde el número 300 hasta el 500, cuyo final de la operación, estuvo determinado por la desaparición de las rayas producidas por la lija anterior. Cada vez que se cambió el papel, se giró la muestra 90°.

Desbaste Final: En éste desbaste final, se utilizó papeles de carburo de silicio, desde el número 600 hasta el 2000, obteniéndose finalmente en el cordón de soldadura, una superficie tipo espejo. En función del acabado de la superficie, el operador cambió el papel, girando la muestra 90° a fin de que desaparezcan las rayas que dejó la lija anterior.

Pulido: Una vez obtenido el acabado tipo espejo, se realizó un pulido de la muestra. Esto se hizo, con una pulidora eléctrica que contiene un disco giratorio, sobre la cual, se colocó un paño de superficie (blanda y no abrasiva) de fieltro, con fibras gruesas para el pulido inicial y fibras delgadas para el pulido final, sobre la que se impregnó una suspensión de polvos abrasivos y unas gotas de agua, cuyo propósito del pulido, fue conseguir llevar a la superficie de la muestra, hasta un brillo especular. Para el pulido inicial, se impregnó el fieltro de fibras gruesas, con suspensión de alúmina gruesa (Al_2O_3), cuyo tamaño de partícula fue de $1\mu\text{m}$ y para el pulido final, se impregnó el fieltro de fibras delgadas, con suspensión de alúmina fina (Al_2O_3), con tamaño de partícula menor.

Ataque químico: El ataque se ejecutó, sobre la superficie de la muestra, una vez pulida, utilizando los siguientes reactivos y tiempo de ataque. Como la muestra fue de acero comercial, se utilizó el reactivo conocido como Nital al 2%, compuesto por 2ml de HNO_3 y 98 ml de Etanol, cuyo tiempo de exposición sobre la superficie de la muestra fue de 20s e inmediatamente después, se limpio la muestra por 10s, rociándola con etanol al 98 %, e inclinándose la superficie de la muestra, para que fluya el líquido por un

tiempo de 10s. Luego se secó la muestra con ayuda de un secador eléctrico. Este ataque químico, permitió revelar la microestructura del metal.

3.8.6.3.- ENSAYOS MICRODUREZA.

Este ensayo se realizo de acuerdo a la norma ASTM E-92. vickers con una carga de 200g. Su penetrador es una pirámide de diamante con un ángulo base de 136°. (Véase Figura. 3.13) Se emplea en las diferentes zonas de las probetas de dimensión 55x10x10mm. (Figura 3.12).

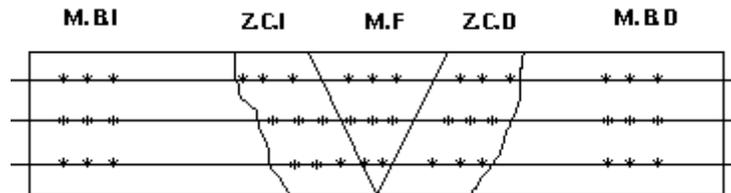


Figura 3.12. Zona de medición para el ensayo de microdureza. (Fuente propia).

- Metal Base Izquierda (M.B.I)
- Zona Calentamiento Izquierda (Z.C.I)
- Material de Aporte (M.F)
- Metal Base Derecha (M.B.D)
- Zona Calentamiento Derecha (Z.C.D)



Figura 3.13. Maquina Buehler de ensayo de microdureza. vickers (Fuente propia).

CAPÍTULO 4

Resultados experimentales

4.1.- INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se presenta la metodología desarrollada para cumplir con los objetivos planteados, mostrando los resultados de los diferentes ensayos.

4.2.- CHARPY.

Los resultados obtenidos de los ensayos de Charpy, se presentan en las Tabla 4.1 y Tabla 4.2. La Figura 4.1, muestra valores promedio de energía disipada en Joule (J), lo cual señala el comportamiento y la comparación de los electrodos durante el impacto por ser dependiente de la temperatura postcalentamiento.

Tabla 4.1. Ensayo electrodo rutilo E7018. (Fuente propia).

TEMP	MASA	PROBETA	Kpm	ENRGIA (J)
27°C	15 Kpm	1	13,7	134,35
600°C	15 Kpm	1	13,8	135,33
		2	13,9	136,31
		3	14,1	138,27
PROMEDIO				136,64
625°C	15 Kpm	1	14,9	146,12
		2	13,9	136,31
		3	13,8	135,33
PROMEDIO				139,25
650°C	15 Kpm	1	14,9	146,12
		2	14,8	145,14
		3	14,8	145,14
PROMEDIO				145,47

Tabla 4.2. Ensayo electrodo bajo hidrogeno E7024. (Fuente propia).

TEMP	MASA	PROBETA	Kpm	ENRGIA (J)
27°C	15 Kpm	1	13,5	132,39
600°C	15 Kpm	1	12,9	126,51
		2	13,8	135,33
		3	12,8	125,53
PROMEDIO				129,12
625°C	15 Kpm	1	12,8	125,53
		2	13,8	135,33
		3	12,9	126,51
PROMEDIO				129,12
650°C	15 Kpm	1	12,8	125,53
		2	13,6	133,37
		3	12,9	126,51
PROMEDIO				128,47

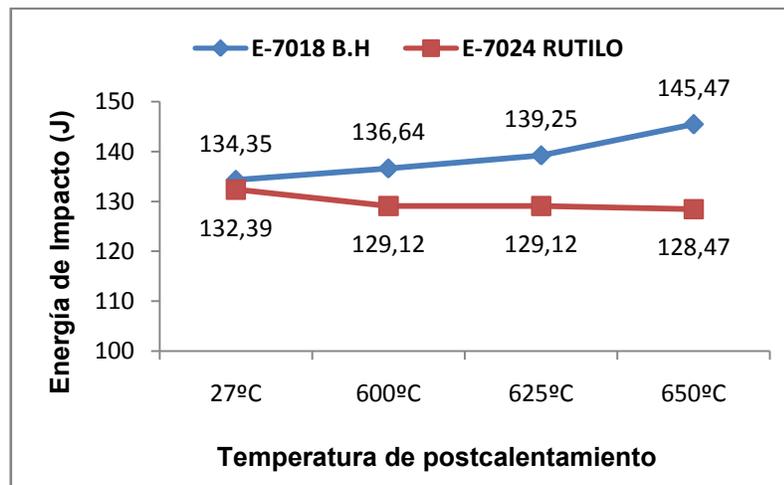


Figura 4.1. Grafica comparativa energía absorbida (Z.F) (E7018 Y E7024). (Fuente propia).

4.3.- MICROSCOPIAS.

Se realizó el estudio de microestructura, del material base (M.B), de la zona afectada (Z.C) y del cordón de soldadura (Z.F); todo ello con la finalidad de revelar el tamaño promedio de los granos, (al ser sometido a diferentes temperaturas postcalentamiento), algunos aspectos de forma y distribución de los micro-constituyentes, que permitan determinar de manera más explícita las condiciones del material en estudio. (Ver figuras 4.2-4.9).

4.3.1.- MICROSCOPIA DE JUNTA SOLDADA CON ELECTRODO E7018.

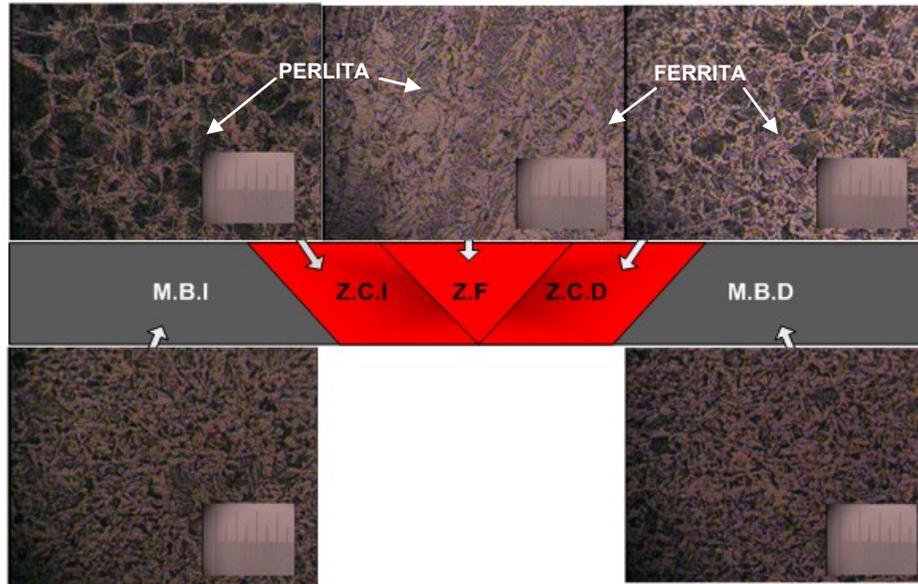


Figura 4.2. Microestructura E7018 a 200x, 27 °C Ambiente. (Fuente propia).

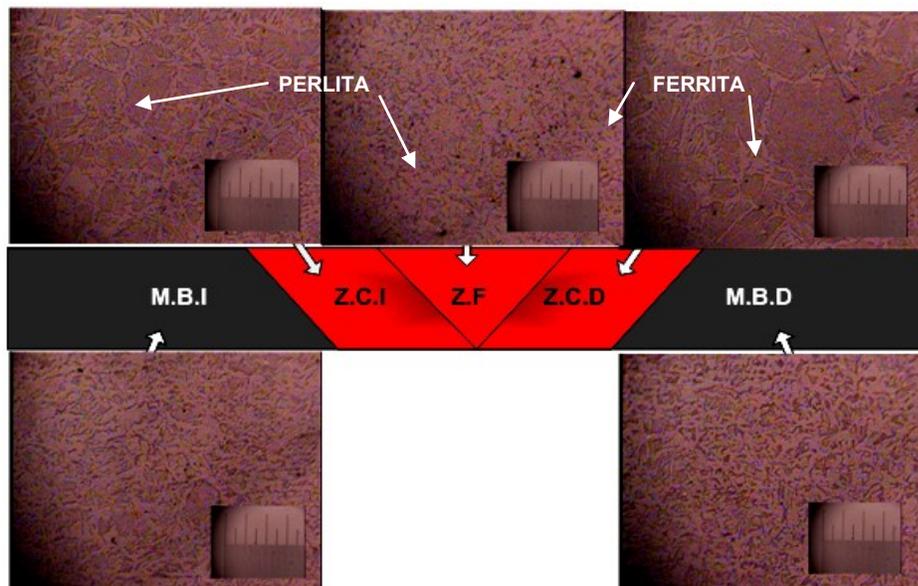


Figura 4.3. Microestructura E7018 a 200x, con Postcalentamiento 600 °C. (Fuente propia).

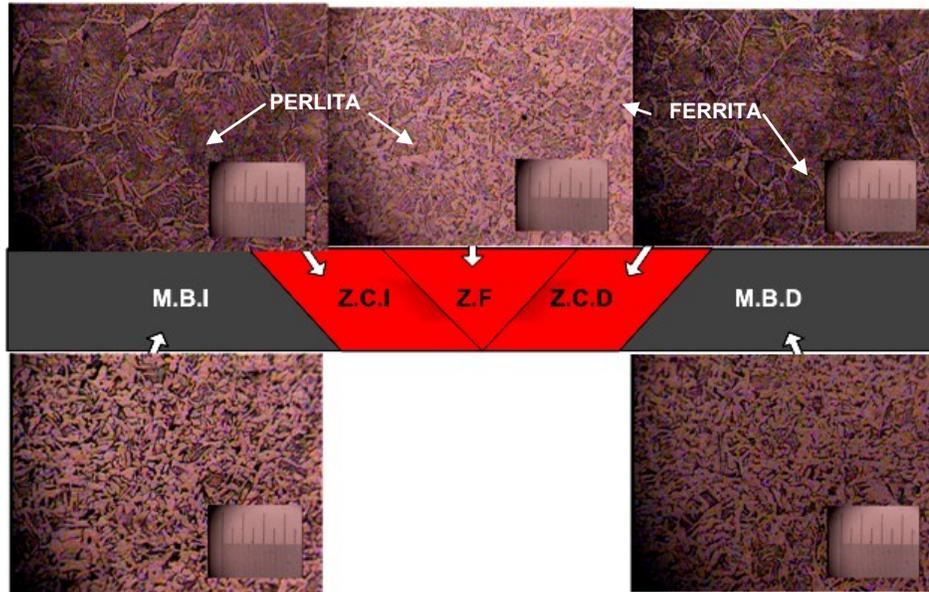


Figura 4.4. Microestructura E7018 a 200x, con Postcalentamiento 625 °C. (Fuente propia).

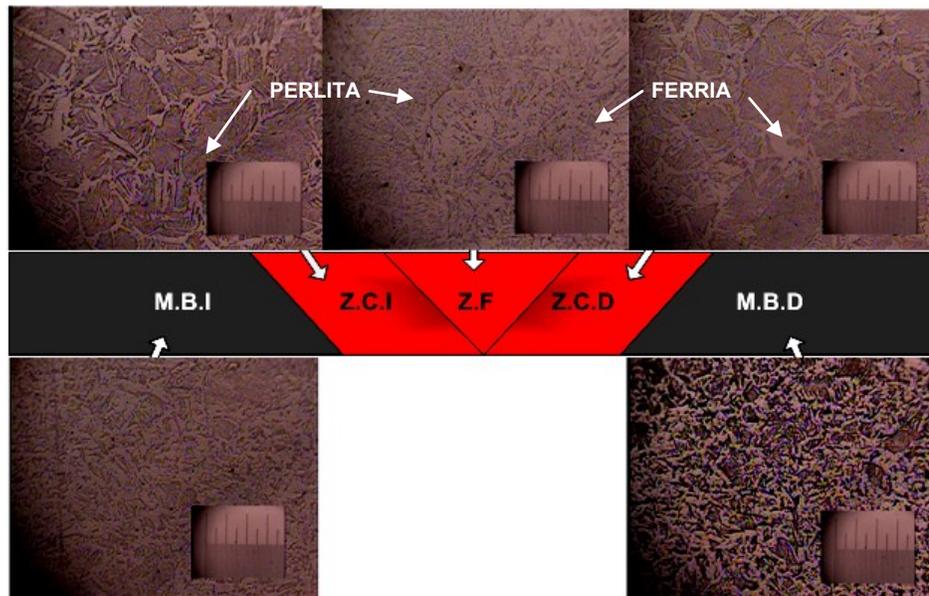


Figura 4.5. Microestructura E7018 a 200x, con Postcalentamiento 650 °C. Fuente propia).

4.3.2.- MICROSCOPIA DE JUNTA SOLDADA CON ELECTRODO E7024.

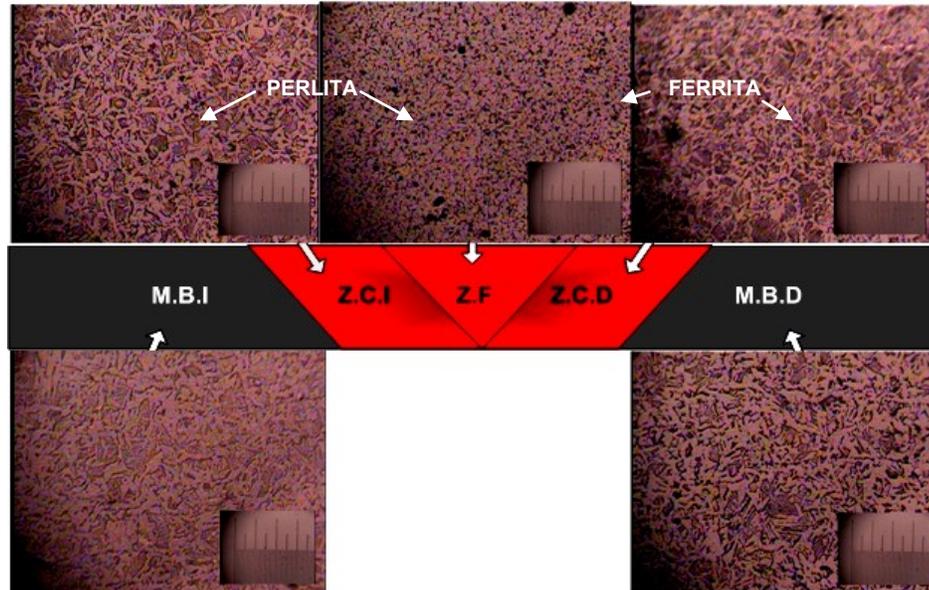


Figura 4.6. Microestructura E7024 a 200x, 27 °C Ambiente. Fuente propia).

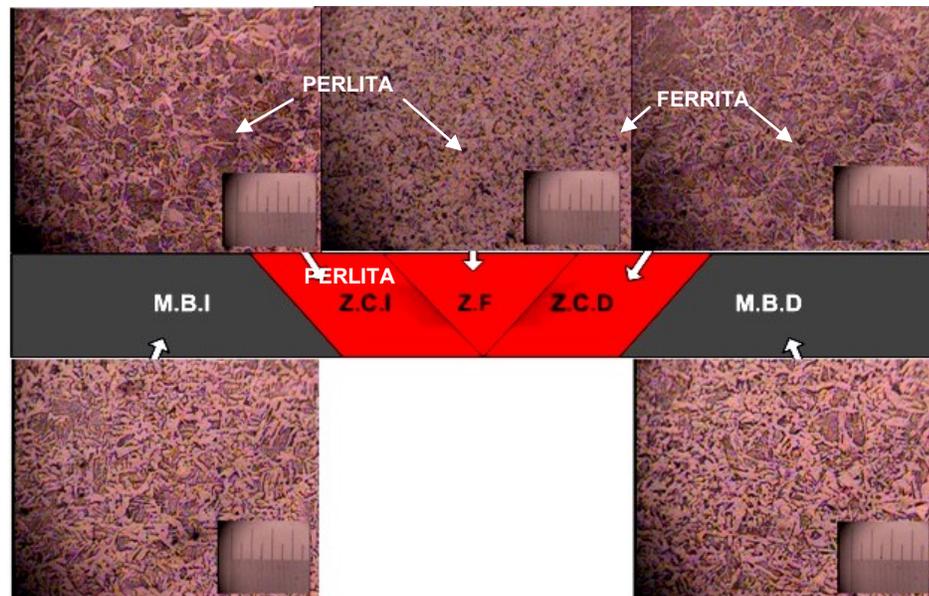


Figura 4.7. Microestructura E7024 a 200x, con Postcalentamiento 600 °C. (Fuente propia).

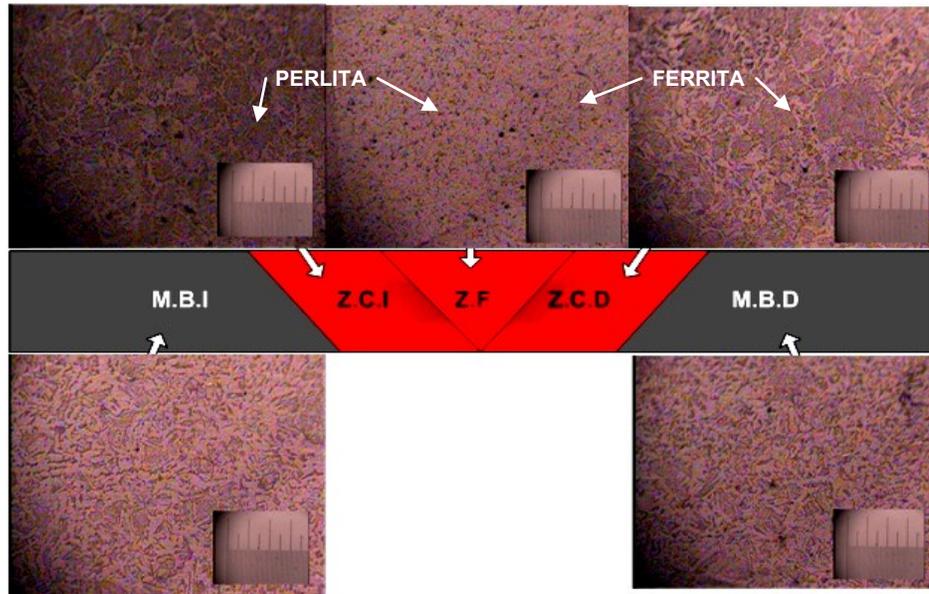


Figura 4.8. Microestructura E7024 a 200x, con Postcalentamiento 625 °C. (Fuente propia).

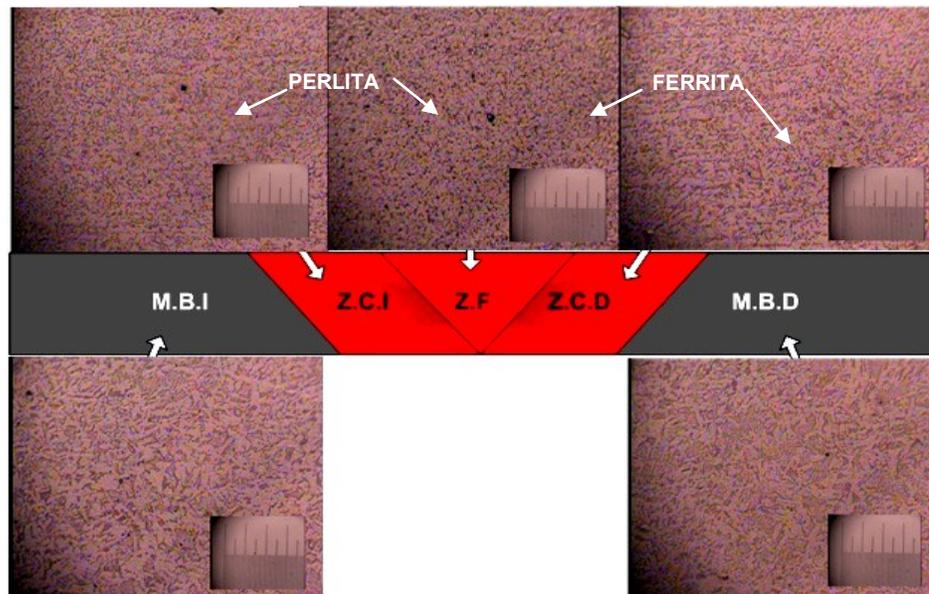


Figura 4.9. Microestructura E7024 a 200x, con Postcalentamiento 650 °C. (Fuente propia).

4.4.- CARACTERIZACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA.

La evaluación fue efectuada en un plano transversal o perpendicular a la dirección de laminación del material.

4.4.1.- JUNTA SOLDADA CON ELECTRODO E7018.

La Figura 4.2 a 200x con temperatura ambiente 27°C, presenta la microestructura del material base (M.B.I y M.B.D), las imágenes revelan estructuras perlíticas (zonas grises) y ferríticas de color más clara, se aprecia claramente que los granos son bastante homogéneos. En la zona de calentamiento (Z.C.I y Z.C.D), está compuesta por granos grandes de tamaños variados y ligeramente orientados según la dirección de conformado, Las imágenes revelan estructuras perlíticas (zonas grises) y ferríticas de color más clara. La zona fundida (Z.F) presenta granos grandes y alargada, la imagen revela estructuras perlíticas (zonas grises) y ferríticas de color más clara.

La Figura 4.3 a 200x, se aplica la temperatura de postcalentamiento 600°C, se presenta la microestructura del material base (M.B.I y M.B.D), las imágenes revelan estructuras perlíticas (zonas grises) y ferríticas de color más clara, se aprecia claramente que los granos sigue siendo homogéneos. En la zona de calentamiento (Z.C.I y Z.C.D), presenta cambios en el tamaños del grano la cual crece con el incremento de la temperatura, Las imágenes revelan estructuras perlíticas (zonas grises) y ferríticas de color más clara. La zona fundida (Z.F) presenta cambios en el tamaños del grano la cual crece con el incremento de la temperatura, la imágenes revelan estructuras perlíticas (zonas grises) y ferríticas de color más clara

En las Figuras 4.4 a 200x, se aplica la temperatura de postcalentamiento 625°C, se presenta la microestructura del material base (M.B.I y M.B.D), las imágenes revelan estructuras perlíticas (zonas grises) y ferríticas de color más clara, los grano son medianos y homogéneos. En la zona de calentamiento (Z.C.I y Z.C.D), presenta cambios notorios en el tamaños del grano con respecto a la figura 4.3 la cual crece con el incremento de la temperatura de transición, Las imágenes revelan estructuras perlíticas (zonas grises) y ferríticas de color más clara. La zona fundida (Z.F) presenta cambios notorio en el tamaños del grano la cual crece con el incremento de la temperatura, la imágenes revelan estructuras perlíticas (zonas grises) y ferríticas de color más claro.

En las Figuras 4.5 a 200x, se aplica la temperatura de postcalentamiento 650°C, se presenta la microestructura del material base (M.B.I y M.B.D), las imágenes revelan estructuras perlíticas (zonas grises) y ferríticas de color más clara, los grano son medianos y homogéneos. En la zona de calentamiento (Z.C.I y Z.C.D), presenta cambios notorios en el tamaños del grano con respecto a la figura 4.4 la cual crece con el incremento de la temperatura de transición, Las imágenes revelan estructuras perlíticas (zonas grises) y ferríticas de color más clara. La zona fundida (Z.F) presenta

cambios notorio en el tamaños del grano la cual crese con el incremento de la temperatura, la imágenes revelan estructuras perlíticas (zonas grises) y ferrificas de color más claro.

4.4.2.- JUNTA SOLDADA CON ELECTRODO E7024.

La Figura 4.6 con temperatura ambiente 27°C , presenta la microestructura del material base (M.B.I y M.B.D), las imágenes revelan estructuras perlíticas (zonas grises) y ferrificas de color más clara con grano homogéneo. En la zona de calentamiento (Z.C.I y Z.C.D) está compuesta por granos medianos de tamaños variados y ligeramente orientados, Las imágenes revelan estructuras perlíticas (zonas grises) y ferrificas de color más clara. La zona fundida (Z.F) presenta granos fino bastante homogéneo, la imágenes revelan estructuras perlíticas (zonas grises) y ferrificas de color más claro.

La Figura 4.7 a 200x, se aplica la temperatura de postcalentamiento 600°C , se presenta la micro-estructura del material base (M.B.I y M.B.D), las imágenes revelan estructuras perlíticas (zonas grises) y ferrificas de color más claro con grano medianos y homogéneo. En la zona de calentamiento (Z.C.I y Z.C.D), presenta cambios en el tamaños del grano la cual crese con el incremento de la temperatura, Las imágenes revelan estructuras perlíticas (zonas grises) y ferrificas de color más claro. En la zona fundida (Z.F) permanece el tamaños del grano fino, la imágenes revelan estructuras perlíticas (zonas grises) y ferrificas de color más claro.

La Figura 4.8 a 200x, se aplica la temperatura de postcalentamiento 625°C , se presenta la micro-estructura del material base (M.B.I y M.B.D), las imágenes revelan estructuras perlíticas (zonas grises) y ferrificas de color más claro con grano medianos y pequeños. En la zona de calentamiento (Z.C.I y Z.C.D), presenta cambios en el tamaños del grano la cual crese con el incremento de la temperatura de postcalentamiento, Las imágenes revelan estructuras perlíticas (zonas grises) y ferrificas de color más claro. En la zona fundida (Z.F) permanece el tamaños del grano fino, la imágenes revelan estructuras perlíticas (zonas grises) y ferrificas de color más claro.

La Figura 4.9 a 200x, se aplica la temperatura de postcalentamiento 650°C , se presenta la micro-estructura del material base (M.B.I y M.B.D), las imágenes revelan estructuras perlíticas (zonas grises) y ferrificas de color más claro con grano medianos y pequeños. En la zona de calentamiento (Z.C.I y Z.C.D), presenta cambios en el tamaños del grano la cual disminuye con el incremento de la temperatura de postcalentamiento, Las imágenes revelan estructuras perlíticas (zonas grises) y ferrificas de color más claro. En la zona fundida (Z.F) permanece el tamaños del grano fino, la imágenes revelan estructuras perlíticas (zonas grises) y ferrificas de color más claro.

4.4.1.- MICRODUREZA.

Los resultados obtenidos durante el ensayo de microdureza, se presenta. Tabla 4.3 y Tabla 4.4, tanto del material base (M.B), zona de calentamiento (Z.C) material de aporte (M.F), se muestran valores promedio, lo cual señala el comportamiento y la comparación de los electrodos durante el ensayo, por ser dependiente de la temperatura son representados en la Figura 4.10-4.13, con la finalidad de apreciar la existencia de cambios en las propiedades mecánicas del material producidos por la aplicación del proceso de soldadura.

Tabla 4.3. Ensayo electrodo bajo hidrogeno E7018. (Fuente propia).

TEMP	Nº ENSAYO	M.B.I	Z.C.I	Z.F	Z.C.D	M.B.D
27Cº	1	157,3	197,8	184	182,3	161,6
	2	165,1	170,8	184	182,2	174,9
	3	159,6	179,9	183,9	184,2	165,3
	4	100,3	183,2	185	183,5	158,3
PROMEDIO DE DATOS		145,575	182,925	184,225	183,05	165,025
600Cº	1	150,6	165,4	188,6	168,3	134,6
	2	141,5	166,5	181,1	161,6	143,4
	3	142,3	165,5	180,7	167,2	139
	4	143,4	167,4	194	166,3	143,2
PROMEDIO DE DATOS		144,45	166,2	186,1	165,85	140,05
625Cº	1	137,2	137,4	197,8	151,7	148,9
	2	132,4	140,3	164	154,5	140,4
	3	131,2	166,3	193	136,8	143,5
	4	135,4	153,5	157	152,4	149,7
PROMEDIO DE DATOS		134,05	149,375	177,95	148,85	145,625
650Cº	1	133	145,7	173,4	144,3	132,8
	2	133	144	159,6	153,2	132,6
	3	128,2	142,7	181,5	146	178,5
	4	137,4	153	164,4	148,4	139,8
PROMEDIO DE DATOS		132,9	146,35	169,725	147,975	145,925

Tabla 4.4. Ensayo electrodo rutilo E7024. (Fuente propia).

TEMP	Nº ENSAYO	M.B.I	Z.C.I	Z.F	Z.C.D	M.B.D
27Cº	1	110,6	181,9	184,4	178	103,7
	2	114,4	166,8	185,6	166,8	116,8
	3	118,3	169	185,9	173,8	107,5
	4	125,3	165,4	185,2	159,6	103,4
PROMEDIO DE DATOS		117,15	170,775	185,275	169,55	107,85
600Cº	1	140,4	170,1	192,9	156,4	134
	2	145,4	145,7	182,3	147,8	142,3
	3	144,9	166,5	182,3	148,8	142,9
	4	140,9	192,4	196,5	164,4	143,2
PROMEDIO DE DATOS		142,9	168,675	188,5	154,35	140,6
625Cº	1	138,8	143,7	191	149,5	151,1
	2	140,9	166,5	189	150,8	148,9
	3	133	144,3	187	159	141,2
	4	137,9	152	192,9	155,7	159,3
PROMEDIO DE DATOS		137,65	151,625	189,975	153,75	150,125
650Cº	1	148,1	163,3	184	163	141,2
	2	150,1	137,2	191,6	149,5	140,4
	3	149,9	159,8	185,2	148,8	160,3
	4	141,5	158,3	218,5	144	156,1
PROMEDIO DE DATOS		147,4	154,65	194,825	151,325	149,5

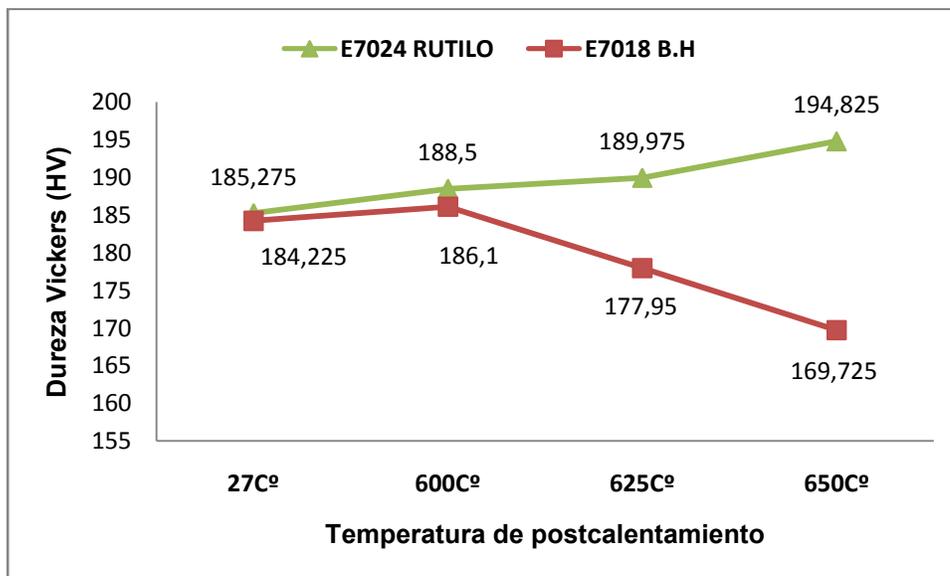


Figura 4.10. Grafica Comparativa Microdureza (Z.F) (E7018 Y E7024). (Fuente propia).

CAPÍTULO 5

Análisis de los resultados

5.1.- CHARPY.

Para el análisis de resultados del ensayo de energía de impacto, se partirá de resultados comparando las muestras en función de la evolución de los procesos de postcalentamiento, en el cordón de soldadura con los electrodos E7018 y E7024 Figura 4.1. Con el electrodo E7018 a medida que se aplica la temperatura de postcalentamiento, este presenta un aumento en la energía de impacto el cual tiene un comportamiento dúctil, debido a que dicha temperatura actuó como un tratamiento térmico de revenido mejorando las propiedades mecánicas de la unión, entre ellas la tenacidad y ductilidad provocando que la soldadura sea más resistente y con el E7024 a medida que se aplica la temperatura de postcalentamiento, este presenta una baja en la energía de impacto dando un comportamiento de baja absorción de energía al impacto.

5.2.- MICRODUREZA.

En cuanto a la microdureza realizada en la (ZF) con los electrodo de E7024 y E7018 los resultado son presentado en figura 4.10, que a mayor temperatura de postcalentamiento, en el E7018 hubo un descenso en los valores de microdureza debido al tratamiento térmico la cual logro aliviar las tensiones; en el E7024 hubo un aumento en los valores de la microduraza debido que el tratamiento térmico no logro aliviar las tensiones.

5.3.- MICROESTRUCTURA.

La microestructura en los cordones de soldadura en función de la evolución de los procesos de postcalentamiento, revela una estructura de

tipo perlítica (área oscura) y ferrítica (área claras) presentando con los electrodos E7018 y E7024 en la zona fundida (Z.F). En la figura 4.2 - 4.5 (E7018), se observa crecimiento de los granos esto se debe al manganeso, composición química del electrodo E7018, este hace disminuir la velocidad de enfriamiento al aire tranquilo; en la figura 4.6 – 4.9 (E7024), se observa granos pequeños y refinados producto del enfriamiento al aire tranquilo. Esto significa que las propiedades mecánicas en la (Z.F) para los dos electrodos no serán uniformes, los granos grandes producen baja dureza, y los granos pequeños proporcionan mayor dureza a la soldadura, la dureza es directamente proporcional al esfuerzo último, e inversamente proporcional a la ductilidad. Por tanto, la zona con granos grandes tendrá poca resistencia a la tensión y elevada ductilidad, mientras que la zona con granos pequeños tendrá elevada resistencia a la tensión, y al mismo tiempo elevada fragilidad pag 20.

5.4.- CONCLUSIÓN.

- Para el electrodo E7018 la energía de impacto aumenta 11.68% con respecto al E7024.
- En la microdureza, con el electrodo E7024 presento una notable reacción al postcalentamiento incrementando su dureza producto del enfriamiento al aire tranquilo.
- En la microdureza, con el electrodo E7018 es más estable, ya que alivio la templeabilidad y bajo su dureza con el postcalentamiento.
- En la microestructura con el E7018 presenta granos grande, esto se debe %Mn disminuye el enfriamiento y la sensibilidad a la fractura frágil. Ver pág. 29.
- En la microestructura con el E7024 presenta granos refinado, esto se debe que, el %Mn es bajo y %C es alto, aumente la velocidad de enfriamiento y la dureza. Ver pág. 26 y 29.

5.5.- RECOMENDACIÓN.

- Continuar con la investigación aplicando los ensayos mecánico, (rotura frágil, flexión, tracción, vibración permanente).
- Realizar un estudio de microestructura de las grietas presente en la soldadura mediante experimentos destructivos.
- Se recomienda para la preparación de probetas y corte de láminas, no utilizar Oxicorte ni esmeril de piedra y trazadora ya que altera la microestructura del material base.



- Utilizar un ambiente aislado para evitar la posible corriente de aire al momento de realizar la soldadura.

BIBLIOGRAFÍA

Abdulhamid, S., & Al. (2002). Effect of preheating on hot Cracking Susceptibility of Welded Austenitic Stainle. En *6th Saudi Engineering Conference*. (págs. vol. 5. pp. 243-256). Dhahran Saudi Arabia.

Asta, E., & Al. (2003). Efecto de la temperatura de precalentamiento en la soldabilidad de un acero ASTM A514 Gr B. En *Congreso Nacional de Metalurgia. Sociedad Argentina de Metalurgia*. (págs. 93-96). Buenos Aire Argentina.

Avner, S. *Induccion a la metalurgia física*. México: McGraw-Hill.

Bonniface. Rossi, E. (1950). *La soldadura y sus Aplicaciones*.

Collieu, A. M., & Powney, D. J. (1977). *Propiedades Mecanicas y termicas de los Materiales*.

ESAB. (2010). *Catalogo soldadura* .

EXASA-OERLIKON. (1995). *Manual de la soldabilidad* .

Hong, T., & DebRoy, A. (2000). *A Computer Program for the Calculation of TTT Diagrams for the Growth and Dissolution of Oxide, Nitride and Sulfide Inclusions*. Department of Materials Science and Engineering The Pennsylvania State University.

Horwitz, H. (1990). *Soldadura, aplicaciones y práctica*. 3era edición. México: Editorial Alfaomega.

INDURA. (Marzo de 2007). *“Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura”*. Obtenido de www.indura.net



Iqbal, S. (2002). *Tensile Properties of Austenitic*, . Corpus Christi College, University of Cambridge.

Junus, D. (2003). *Evaluación de la metalurgia de la soldadura de los aceros inoxidables AISI-304 y AISI-310 con el acero al carbono ASTM A-36. Trabajo de grado*. Valencia: Universidad de Carabobo.

Lippod, J. Weld Cracking Mechanisms in Austenitic Stainless Steels. En *Conference on trends in welding research in the US*. Sandia National Labs. Technical Report. US.: Technical Report. US.

Lord, M., Svensson, L.–E., & Bhadeshia, H. K. (2003). *Silicon–Rich Bainitic Steel Welds*,. Department of Materials Science and Metallurgy, University of Cambridge.

Mathew, P. (2001). *Neural network modelling of hot deformation of austenite*. Wolfson College, University of Cambridge.

MEGA, O. (2009). Manual de especificaciones y garantías AHMSA.

Mohamed, Y. S. (2003). *Strain-Induced Transformation of Very Strong Metal*. St Edmund's College, University of Cambridge.

Payares, M., & Dorta, M. (2004). Influencia de la soldadura GMAW sobre la resistencia al impacto de acero inoxidable dúplex SAF 2205. Universidad Simon Bolivar: Caracas Venezuela.

Quesada Zalazar, M. Métodos para calcular el precalentamiento de uniones soldadas. Cuaderno Facultad No. 13, 2002.

Ramaírez, A., Cerpa, A., Mejias, G., León, J., & Quintero, A. (2006). Soldadura de un acero inoxidable Duplex 2205 por el proceso de soldadura GTAW. Universidad Central de Venezuela. *Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*.

Séférián, D. (1962). *Metalurgia de la Soldadura*. España: Tecnos.

Séférián, D. (1981). *Las Soldaduras Técnica – Control*. España: Urmo.

The Lincoln Electric. (1995). Company, The Procedure Handbook of Arc Welding,.

REFERENCIA

Wanke, S. (1972). *Temple del Acero*. España: Aguilar.

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
COORDINACIÓN DE PROYECTO DE GRADO

SINOPSIS DEL PROYECTO DE GRADO

TITULO DEL TRABAJO:

“EVALUACIÓN DE LA ENERGÍA DE IMPACTO Y MICRODUREZA EN CORDONES DE SOLDADURA CON DIFERENTES TIPOS DE ELECTRODOS Y CON POSTCALENTAMIENTO”

FECHA DE INICIO DEL TRABAJO: 2^{do}/2008

FECHA DE EX. FINAL: 1^{ro}/2011

FECHA DE ENTREGA DE EJEMPLARES DEFINITIVA A DIRECCIÓN DE ESCUELA: _____.

SINOPSIS:

El siguiente trabajo de grado consiste en; evaluación de la energía de impacto y microdureza en cordones de soldadura con arco eléctrico y diferentes tipos de electrodos y con postcalentamiento, para este proceso se utilizo acero AISI-1020 y electrodo E7018, E7024 la cual se utilizo probetas correspondientes para los ensayos de dureza, impacto y microestructura sometiénndola a un tratamiento térmico de poscolentamiento (revenido), se puede enmarcar dentro de una investigación descriptiva.

CEDULA DE IDENTIDAD	NOMBRE ESTUDIANTES	FIRMA
11.279.611	Rojas A. José A.	_____
10.670.750	Harvey Mayorca	_____

FIRMA

PROFESOR GUIA: _____

JURADO: _____

JURADO: _____

ANEXO



Composición química

Especificación	Composición química					Rango de Dim. (Tabla 5)
	C	Mn	P	S	Si	
SAE 1010	0.08 - 0.13	0.30 - 0.60	0.030	0.035	-	1
SAE 1012	0.10 - 0.15	0.30 - 0.60	0.030	0.035	-	1
SAE 1015	0.13 - 0.18	0.30 - 0.60	0.030	0.035	-	1
SAE 1018	0.15 - 0.20	0.60 - 0.90	0.030	0.035	-	1
SAE 1020	0.18 - 0.23	0.30 - 0.60	0.030	0.035	-	2
SAE 1022	0.18 - 0.23	0.70 - 1.00	0.030	0.035	-	2
SAE 1025	0.22 - 0.28	0.30 - 0.60	0.030	0.035	0.35	2
SAE 1030	0.28 - 0.34	0.60 - 0.90	0.030	0.035	0.35	2
SAE 1035	0.32 - 0.38	0.60 - 0.90	0.030	0.035	0.35	2
SAE 1040	0.37 - 0.44	0.60 - 0.90	0.030	0.035	0.35	2
SAE 1045	0.43 - 0.50	0.60 - 0.90	0.030	0.035	0.35	2
SAE 1050	0.48 - 0.55	0.60 - 0.90	0.030	0.035	0.35	2
SAE 1055	0.50 - 0.60	0.60 - 0.90	0.030	0.035	0.35	2
SAE 1060	0.55 - 0.65	0.60 - 0.90	0.030	0.035	0.35	2
SAE 1552	0.47 - 0.55	1.20 - 1.50	0.030	0.035	0.15 - 0.35	2
SAE 15B21	0.17 - 0.24	0.70 - 1.20	0.030	0.050	0.15 - 0.35	2
AHM 130-B	0.35	1.35	0.030	0.035	0.35	2



NOMBRE Y CLASIFICACION	CARACTERISTICAS Y APLICACIONES	ANALISIS TIPICO DE METAL DEPOSITADO	PROPIEDADES FISICAS DE METAL DEPOSITADO VALORES TIPICOS	CARACT. OPERATIVAS	POSICION DE SOLDADURA
➔ SOLDADURA DE ACEROS AL CARBONO Y DE BAJA ALEACION					
➔ Electrodo de bajo hidrogeno					
CONARCO 18 AWS A 5.1 E7018-1 (básico)	Electrodo con polvo de hierro en el revestimiento, con excelentes propiedades mecánicas en el metal depositado. Apto para uniones de aceros al C-Mn y de baja aleación, aceros de uso naval grados A, D y E, juntas disímiles entre aceros de bajo C y aceros de alta resistencia.	C: 0,08 % Mn: 1,35 % Si: 0,40 %	Rt > 580 N/mm ² Lf > 500 N/mm ² Al > 27 % ChV(-29°C) > 100J ChV(-45°C) > 80J	= (+)	
CONARCO 18 RH AWS A5.1 E7018-1 (básico)	Destinado a la soldadura de máxima exigencia, ofrece bajos valores de H ₂ difusible y revestimiento con mínima absorción de humedad. No requiere termo de mantenimiento.	C: 0,07 % Mn: 1,40 % Si: 0,40 %	Rt > 570 N/mm ² Lf > 490 N/mm ² Al > 28 % ChV(-45°C) > 90J	= (+)	
CONARCO 24 AWS A5.1 E7024 (rutílico)	Electrodo de alto rendimiento para posición plana y horizontal, de mediana penetración. Indicado para soldadura de estructuras donde se requiera además de calidad radiográfica, rapidez y rendimiento.	C: 0,09 % Mn: 0,65 % Si: 0,40 %	Rt > 570 N/mm ² Lf > 490 N/mm ² Al > 20 % ChV(20°C) > 70J	= (-) para CA OCV > 50 V	

ELECTRODOS DE BAJA ALEACIÓN

Aceros de baja aleación corresponden a aleaciones Hierro-Carbono o a la adición intencional de pequeños contenidos de otros elementos de aleación como, por ejemplo, Manganeso, Silicio, Níquel, Cromo, Cobre, Molibdeno y Vanadio; permitiendo la obtención de propiedades diferenciadas. En general, el contenido total de aleantes en esta clase de aceros varía entre 1,5 a 5%.

Electrodo OK	Metal Depositado		Aplicaciones	Propiedades Mecánicas	Posición Soldadura	Corriente/Tensión	Diámetro (mm)	Rango de Corriente (A)	Voltaje de Arco (V)
Atom Arc 8018-C1	C	0.04	Atom Arc 8018-C1 deposita una soldadura que posee un contenido nominal de 2 1/3%Ni. Su principal uso es para aceros que contienen una parte de níquel para aplicaciones a bajas temperaturas en donde la tenacidad es una propiedad importante de tener controlada.	R.T. 623 MPa		CC+, CA	2,4	70 - 100	24
SFA/AWS A5.5	Si	0.30		R.F. 550 MPa			3,2	90 - 160	26
E8018-C1	Mn	1.10		Alarg. 30%			4,0	130 - 220	28
	P	0.016		ChV (-59°C) 64 J					
	S	0.015							
	Ni	2.58							
Conarco 24	C	0.07	Electrodo de revestimiento rutílico de alto rendimiento y muy buenas propiedades operativas. Penetración mediana y cordón plano con excelente terminación. APLICACIONES Indicado para la soldadura de estructuras metálicas, tanques, barcos, máquinas en posiciones plana o filete horizontal. Ideal en aquellas aplicaciones en las que se necesita, además de la calidad radiográfica de las uniones, una elevada velocidad de deposición. Homologación: ABS 2Y	R.T. 550-600 MPa		CC(+,-), CA VCA= 50V	3,2	130 - 170	25-38
SFA/AWS A5.1	Si	0.40		Alarg. 25-30%			4,0	140 - 230	25-38
E7024	Mn	0.70		Rendimiento 185%			4,8	210 - 350	25-38
OK 48.04 CS básico	C	0.07	Uso en general para soldaduras de alta responsabilidad; depósito de soldadura de alta calidad; para todos los tipos de uniones; alta velocidad y economía de trabajo; indicado para estructuras rígidas, recipientes a presión, construcciones navales, aceros fundidos, aceros no aleados de composición desconocida, etc. Homologación: ABS 3YH10	R.T. 530-590 MPa		CA = 70V CC + 20 - 30V	2,4	350	65 - 105
AWS/ASME SFA A5.1	Si	0.50		A 27-32%			3,2	350	110 - 150
E7018-1	Mn	1.30		Ch V (-30°C) 90 - 120 J			4,0	450	140 - 195
							5,0	450	185 - 270
							6,0	450	225 - 355

Requiere de alguna máquina para soldar

consultenos pág. 53
www.infra.com.mx



Electrodos para aceros al carbono rutílicos con polvo de hierro

CODIGO	NOMBRE COMERCIAL CLASIFICACION AWS	DIAMETRO PULGADAS-MILIMETROS		LONG.	PRESENTACION	CARACTERISTICAS	USOS Y APLICACIONES
2206 2207	INFRA 724 E 7024	1/8"	3.2	14"	Caja con 20 Kg (4 bolsas de 5 kg c/u)	Arco suave, alto rendimiento al depósito, escoria de fácil desprendimiento y calidad radiográfica. Buenas propiedades mecánicas, similares al E 7018, sólo en posición plana y horizontal. Utilice C.A. C.D. P.D. ó P.I.	Fabricación de tanques, maquinaria, estructuras, vigas tipo "I" y "H". Reconstrucción de ejes y flechas, bases y cubiertas soldadas. Metal-mecánica ligera y pesada.

Electrodos para aceros al carbono básicos (Bajo Hidrógeno)

CODIGO	NOMBRE COMERCIAL CLASIFICACION AWS	DIAMETRO PULGADAS-MILIMETROS		LONG.	PRESENTACION	CARACTERISTICAS	USOS Y APLICACIONES
2190 2195 2197 2205	INFRA 718 E 7018	3/32"	2.4	14"	Caja con 20 Kg (4 bolsas de 5 kg c/u)	Buen encendido y reencendido, calidad radiográfica, depósitos de alta calidad metalúrgica. Utilizar C.D. P.I.	Fabricación de maquinaria y de estructuras pesadas sujetas a cargas dinámicas. En la industria petrolera, petroquímica, cementera, papelería y astilleros.



SUPERCITO



Básicos de Baja Aleación Revestimiento Simple

Color de Revestimiento: Gris	Electrodo básico de bajo hidrógeno de extraordinarias características	Extremo : -- Punto : -- Grupo : --
---------------------------------	--	--

Normas:

AWS/ASME: A5.1 - 91	DIN 1913	ISO 3580
E 7018	E 51 55 B 10	E 51 4 B 26 (H)

Análisis Químico
del Metal

C	Mn	Si
0,08	1,20	0,50

Depositado (%):

Características:

- Electrodo básico con bajo tenor de hidrógeno, que otorga al material depositado buenas propiedades mecánicas.
- Su contenido de hierro en polvo mejora la soldabilidad, aumentando la penetración, deposición y mejorando al mismo tiempo su comportamiento en distintas posiciones.
- Rendimiento de 98%.

Resecado:

Cuando el electrodo ha estado expuesto excesivamente a la intemperie, resacar a 250 - 350°C durante 2 horas.

Aprobaciones:

ABS, LRS, GL (Grado 3Y)
ABS (Según AWS A5.1-91)

Propiedades Mecánicas:

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción	Límite Elástico	Ch V -20°C	Elongación en 2"
Sin	510-610 N/mm ²	> 380 N/mm ²	> 140 J	24%
	74 000 a 88 000 lb/pulg ²	> 55 000 lb/pulg ²		
Alivio de Tensiones	480-580 N/mm ²	> 380 N/mm ²	> 140 J	24%
Normalizado	420-520 N/mm ²	> 290 N/mm ²	> 140 J	26%

* Para la calificación ABS según AWS la prueba de impacto es a -29°C

Posiciones de Soldar:

P, H, Sc, Vd.

Corriente y Polaridad:

Para corriente alterna o continua - Electrodo al polo positivo						
Ø	5/64"	3/32"	1/8"	5/32"	3/16"	1/4"
	2,0 mm	2,5 mm	3,25 mm	4,0 mm	5,0 mm	6,30 mm
Amp. mín.	45	70	100	140	190	260
Amp. máx.	60	90	140	200	250	340

Aplicaciones:

- Para aceros de alto contenido de carbono, alta resistencia y baja aleación.
- Para aceros de alto contenido de azufre y fácil fresado.
- Para aceros laminados al frío.
- Por sus características de resistencia a la deformación a altas temperaturas y su fácil manejo, especialmente adecuado para:



FERROCITO 24



Hierro en Polvo

Color de Revestimiento: Verde Claro	Electrodo de alto rendimiento	Extremo : -- Punto : -- Grupo : --
--	-------------------------------	--

Normas:

AWS/ASME: A5.1 - 91	DIN 1913	ISO 3581
E 7024	E 51 32 RR 11 160	E 51 3 RR 160 32

Análisis Químico del Metal Depositado (%):

C	Mn	Si	P	S
0,08	0,80	0,35	0,01	0,02

Características:

- Electrodo de revestimiento grueso, rico en hierro en polvo; especial para soldaduras rápidas y seguras.
- De arco suave, de gran rendimiento y con escaso chisporroteo, dando como resultado depósitos de óptima calidad.
- Rendimiento aproximado 150 %.
- El arco se inicia instantáneamente al simple contacto y es muy estable.
- La escoria tiende a desprenderse por si sola.

Resecado:

Cuando el electrodo ha estado expuesto excesivamente a la intemperie, resecar a 100 - 110°C durante 1 hora.

Aprobaciones:

ABS, LRS, GL (Grado 1)

Propiedades Mecánicas:

Resistencia a la Tracción	Límite Elástico	Ch V +20°C	Elongación en 2"
490 - 560 N/mm ²	> 380 N/mm ²	> 60 J	> 22%
71 000 a 81 000 lb/pulg ²	> 55 000 lb/pulg ²		

Posiciones de Soldar:

P, Fh.

Corriente y Polaridad:

Para corriente alterna o continua - Electrodo al polo negativo				
Ø	1/8"	5/32"	3/16"	1/4"
	3,25 mm	4,0 mm	5,0 mm	6,30 mm
Amp. mín.	130	180	200	300
Amp. máx.	160	220	280	350

Aplicaciones:

- Especialmente indicado cuando se busca, además de la calidad del depósito, rapidez en la ejecución y alto rendimiento.
- Construcciones metálicas.
- Fabricación de tanques, calderas, puentes.
- Soldaduras de filete.

CONARCO 24 rutílico

DESCRIPCION / APLICACION

Electrodo de revestimiento rutílico de alto rendimiento y muy buenas propiedades operativas. Penetración mediana y cordón plano con excelente terminación.

Indicado para la soldadura de estructuras metálicas, tanques, barcos, máquinas, en posiciones plana o filete horizontal. Ideal en aquellas aplicaciones en las que se necesita, además de la calidad radiográfica de las uniones, una elevada velocidad de deposición.

CARACTERISTICAS OPERATIVAS

CC (-) CA

POSICION DE SOLDADURA



CLASIFICACION

AWS A5.1 E7024

EQUIVALENTE

COMPOSICION QUIMICA TIPICA DEL METAL DEPOSITADO

C 0,09 %
Mn 0,66 %
Si 0,40 %

PROPIEDADES MECANICAS DEL METAL DEPOSITADO (VALORES TIPICOS)

R > 567 MPa
Rf > 488 MPa
AI > 22 %

CONARCO 18 básico - bajo hidrógeno

DESCRIPCION / APLICACION

Electrodo con polvo de hierro en su revestimiento y bajo hidrógeno. Escoria básica que deposita cordones de calidad radiográfica. Excelentes propiedades de impacto a bajas temperaturas.

Construcciones soldadas de gran responsabilidad, con aceros al C-Mn y de baja aleación con resistencia a la tracción hasta 560 MPa. Soldadura de aceros hasta 0.45 % de carbono y aceros para uso naval de grados A, D y E. Apto para juntas disimiles entre aceros de bajo carbono y alta resistencia y de aceros al C-Mn que deban trabajar a bajas temperaturas (hasta -29 °C) o altas temperaturas (hasta 540 °C).

CARACTERISTICAS OPERATIVAS

CC (+)

POSICION DE SOLDADURA



CLASIFICACION

AWS A5.1 E7018-1

EQUIVALENTE

COMPOSICION QUIMICA TIPICA DEL METAL DEPOSITADO

C 0,08 %
Mn 1,25 %
Si 0,45 %

PROPIEDADES MECANICAS DEL METAL DEPOSITADO (VALORES TIPICOS)

R > 582 MPa
Rf > 499 MPa
AI > 29 %
CVN (-46 °C) > 89 J

LOSARC C23

AWS-A 5.1
E 7024

C: 0,08	Electrodo de contacto, rutílico con polvo de hierro, de gran rendimiento (150-160 %), elevadísima velocidad de depósito de impecable presentación. El aspecto de los cordones que se obtienen con su empleo es similar a los que se obtienen por procesos automáticos.	NARANJA	Rt: 510MPa Lf: 430MPa Al: 25 % I: (+20 °C) 90J	CC(-) CA	3,2 4 5	120-150 170-210 240-340
---------	--	---------	--	-------------	---------------	-------------------------------



LOSARC EXCEL 18

AWS-A 5.1
E 7018-1

C: 0,05	Electrodo de revestimiento básico, con polvo de hierro, para la soldadura de acero de hasta 550 MPa de resistencia a la tracción. Recomendado para uniones de chapa de gran espesor o fuertemente embreadas, sometidas a trabajo en caliente. Su metal de aporte puro, además de excelentes propiedades mecánicas y calidad radiográfica, presenta nivel de hidrógeno difusible menor de 4 ml / 100gr de metal depositado (después del correspondiente resecado) lo que lo clasifica según la norma AWS A5.1-91 como un electrodo E7018-1H4. Se utiliza en la soldadura de tuberías, recipientes a presión, materiales ferroviarios, construcción naval, recipientes de almacenajes, intercambiadores de calor, industria petroquímica, trabajos de montaje, caldería pesada, etc.	VERDE	Rt: 530 MPa Lf: 435 MPa Al: 30 % I: (-46 °C) 120J	CC(+) CA	2,5 3,2 4	65-110 90-140 110-180
---------	--	-------	---	-------------	-----------------	-----------------------------





INFRA 718

NORMA:

ASME SFA 5.1 E 7018
AWS A 5.1 E 7018
AWS A 5.1M E 4918

DESCRIPCIÓN

Electrodo bajo hidrógeno con polvo de hierro en el revestimiento para soldar en todas posiciones. Tiene altas propiedades mecánicas a temperaturas bajo cero, es recomendable para depósitos en los cuales se desee minimizar el riesgo de fractura y tener la menor cantidad posible de poros, debido a las características de su recubrimiento; para soldadura de aceros con alto contenido de azufre.

APLICACIONES

Dentro del sector metal-mecánico, es ampliamente utilizado en la construcción de grúas, contenedores, vagones de ferrocarril, secciones gruesas y pesadas con un amplio factor de seguridad.

En la industria de la construcción es usado con éxito en cordones de relleno de secciones pesadas y en la fabricación, montaje de secciones gruesas en placas y estructuras de refuerzo en todas posiciones.

En el giro petrolero se usa como relleno de secciones gruesas y tubería de gran espesor y sometidas a altas presiones, en gasoductos y tanques de almacenamiento.

Los soldadores dedicados a la pailería prefieren éste electrodo cuando deben soldar recipientes de pared gruesa sometidos a altas presiones, ya sea en pasos múltiples o sencillos, en calderas y envases tales como compresores de aire.

En los astilleros se usan para fabricar barcasas y buques de gran tamaño y secciones gruesas.

En general en aplicaciones que requieran alta resistencia mecánica, alto rendimiento y uniones libres de grietas y poros.

VENTAJAS

Depósitos con calidad radiográfica, su tenacidad supera las marcadas por la normatividad correspondiente en probetas Charpy V – Notch, electrodos de muy fácil operación con CDPI, prácticamente no hay chisporroteo ni salpicaduras, arco sereno y aprobado por su fácil manipulación por los soldadores. Utilizado para relleno rápido en obras de gran magnitud. Su escoria se enfría rápidamente y es fácil de remover, la superficie de la cara de la soldadura es convexa y en soldaduras de filete puede ser inclusive plana, es muy utilizado a altas velocidades de avance.

PROPIEDADES MECÁNICAS SEGÚN A.W.S.

Resistencia a la Tensión	490 MPa (70 000 psi)
Límite Elástico	400 Mpa (58 000 psi)
Elongación	22 %
Impacto a –30 °C en probetas Charpy V – Notch	27 Joules

COMPOSICIÓN QUÍMICA SEGÚN AWS

	% Máximo		% Máximo
Carbono	0,15	Cromo	0,20
Manganeso	1,60	Molibdeno	0,30
Azufre	0,035	Vanadio	
Silicio	0,75	Fósforo	0,035
Níquel	0,30		

GRICON 15

CLASIFICACIÓN
E 7018
E 48218

NORMA
AWS/ ASME: SFA- 5.1
COVENIN: No. 1477- 2001
POSICIONES: Todas, excepto vertical descendente
CORRIENTE: Alterna o Continua Polo Positivo (+)

DESCRIPCIÓN: Electrodo de revestimiento básico con alto contenido de hierro en polvo que genera un rendimiento de 120%. Sus depósitos son de bajo hidrógeno, tenaces, resistentes al agrietamiento, libres de poros e inclusiones de escoria, lo cual queda demostrado al realizar el análisis radiográfico. Presenta arco estable de poca salpicadura, cordones de apariencia uniforme con fácil remoción de escoria.

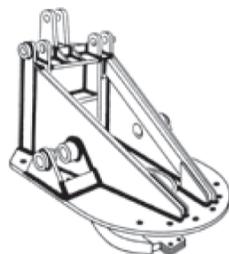
APLICACIONES: Soldadura de los aceros de bajo y medio carbono hasta 0.45%C, aceros al carbono- manganeso, aceros de baja aleación con resistencia a la tracción hasta 70000 psi, aceros con alto contenido de azufre y fósforo considerados difíciles de soldar. Soldadura de aceros fundidos, aceros de grano fino. Su campo de aplicación abarca temperaturas de trabajo desde - 30°C hasta 350°C.

Las aplicaciones específicas incluyen plantas de potencia, plantas petroquímicas, montajes de estructuras de acero, equipos de minería, soldadura en ambientes de baja temperatura donde las propiedades de impacto sean importantes, construcción de vagones de trenes, rieles, equipos pesados. Construcciones navales en aceros de los grados A, B, D, y E, erección de plataformas costa afuera, construcción de calderas, tanques, gasoductos y oleoductos.

OPERACIÓN: Suelde con arco corto, limpie bien la escoria entre pases. Para soldaduras en vertical llevar la progresión ascendente. Se recomienda almacenar los electrodos en termos a temperaturas entre 70°C y 120°C para uso inmediato.

VALORES TÍPICOS:

Composición química: C: 0,08% Mn: (1,0 - 1,40)% Si: (0,30- 0,60)%
Resistencia a la tracción: (540 - 610)N/mm² (77,14 - 88,73) ksi
Límite elástico: (450 - 510) N/mm² (62,79 - 72,86) ksi
Alargamiento: (L = 5d): (25 - 29) %
Resistencia al impacto: (120 - 160) N.m a - 30° C



Diámetro (mm)	Diámetro (pulg)	Longitud (mm)	Intensidad (amp)	Peso Paq. (kg)
2,50	3/32	350	60-100	10
3,25	1/8	350/450	90-140	10/12
4,00	5/32	350/450	120-190	10/12
5,00	3/16	350/450	160-230	10/12
6,00	1/4	450	210-300	12

GRICON 15HI



CLASIFICACIÓN
E 7018-1

NORMA

AWS/ ASME: SFA- 5.1

POSICIONES: Todas, excepto vertical descendente

CORRIENTE: Alterna o Continua Polo Positivo (+)

DESCRIPCIÓN: Electrodo de revestimiento básico con alto contenido de hierro en polvo, alto rendimiento, presenta arco estable de poca salpicadura, cordones de apariencia uniforme con fácil remoción de escoria. Sus depósitos son de bajo hidrógeno, tenaces, resistentes al agrietamiento, de calidad radiográfica, de excepcionales características de alto impacto a bajas temperaturas tanto en la condición sin tratamiento térmico como con alivio de tensiones.

APLICACIONES: Soldadura de los aceros de bajo y medio carbono, aceros al carbono - manganeso, aceros de baja aleación con resistencia a la tracción hasta 70 ksi, aceros con alto contenido de azufre y fósforo considerados difíciles de soldar. Soldadura de aceros fundidos, aceros de grano fino. Su campo de aplicación abarca temperaturas de trabajo desde - 45°C hasta 350°C. Excelente elección para aplicaciones que requieran altos valores de impacto a bajas temperaturas.

OPERACIÓN: Suelde con arco corto, limpie bien la escoria entre pases. Para soldaduras en vertical llevar la progresión ascendente. Se recomienda almacenar los electrodos en termos a temperaturas entre 70°C y 120°C para uso inmediato.

VALORES TÍPICOS:

Composición química: C: 0,07% Mn: (1,0 - 1,50)% Si: (0,30 - 0,70)%
Resistencia a la tracción: (540 - 610) N/mm² (77,14 - 88,73) ksi
Límite elástico: (450 - 510) N/mm² (62,79 - 72,86) ksi
Alargamiento: (L = 5d): (25 - 29) %
Resistencia al impacto: (100 - 130) N.m a - 45°C (Sin tratamiento térmico)

Diámetro (mm)	Diámetro (pulg)	Longitud (mm)	Intensidad (amp)	Peso Paq. (kg)
2,50	3/32	350	60-100	10
3,25	1/8	350/450	90-130	10/12
4,00	5/32	350/450	120-190	10/12
5,00	3/16	350/450	160-230	10/12
6,00	1/4	450	210-300	12

GRICON 17

NORMA
AWS/ ASME: SFA- 5.1
POSICIONES: Plana y Horizontal
CORRIENTE: Alterna o Continua Polo Negativo (-)



CLASIFICACIÓN
E 7024

DESCRIPCIÓN: Electrodo de revestimiento a base de rutilo con polvo de hierro, lo cual hace que su rendimiento, usualmente sea del 150% con relación al núcleo. Se caracteriza por presentar arco suave, silencioso, con escasas proyecciones y cordones convexos de superficie lisa, excelente acabado y escoria autodesprendible.

APLICACIONES: Por su alto rendimiento, ideal para soldaduras en posición plana y filete horizontal, uniones de planchas gruesas de bisel amplio. Útil en la soldadura de aceros de bajo y medio carbono con resistencia a la tracción hasta 510 N/mm². Especialmente indicado en la fabricación de estructuras metálicas tales como: vagones de trenes, estructuras navales, tanques, elementos de máquinas y en general, trabajos que requieran soldaduras de calidad radiográfica, rapidéz de ejecución y alta velocidad de deposición, contribuyendo de esta forma a la economía de la soldadura.

OPERACIÓN: Opera con corriente continua y alterna. En soldadura de filete se recomienda mantener la punta del electrodo con un ligero contacto con ambas planchas. En soldadura de posiciones plana y horizontal, mantenga el arco lo más corto posible.

VALORES TÍPICOS:

Composición química:	C: 0,08 %	Mn: (0,70 - 1,0)%	Si: (0,30- 0,60)%
Resistencia a la tracción:	(540 - 610) N/mm ²	(77,14 - 88,73) ksi	
Límite elástico:	(450 - 510) N/mm ²	(62,79 - 72,86) ksi	
Alargamiento (L= 5d):	(22 - 26)%		
Resistencia al impacto:	No requerida por AWS		

Diámetro (mm)	Diámetro (pulg)	Longitud (mm)	Intensidad (amp)	Peso Paq. (kg)
3,25	1/8	350	120-170	10
4,00	5/32	450	140-200	12
5,00	3/16	450	180-250	12